

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2010

Peter Staš

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**NÁVRH ELEKTRICKÉHO POHONU PRO
TESTOVACÍ SYSTÉM SMYKOVÉ ÚNAVY
OCELOVÝCH MATERIÁLŮ**

**DESIGN OF ELECTRIC DRIVE FOR TESTING
SYSTEM OF STEEL MATERIALS**

Prehlásenie:

„Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie z ktorých som čerpal.“

Podakovanie:

Rád by som touto cestou vyjadril vďaku svojmu školiteľovi Ing. Václavu Čechovi Ph.D. za odbornú pomoc, ochotu a cenné rady, poskytované v priebehu riešenia diplomovej práce. Chcem tiež poďakovať Ing. Radimovi Halamovi Ph.D. a Ing. Pavlovi Burýškovi, ktorí mi vyšli v ústrety pri poskytnutí technických prostriedkov použitých pre realizáciu práce.

V Ostrave

.....

podpis študenta

Abstrakt

Predložená diplomová práce sa zaoberá návrhom riadenia elektrického motorického pohonu skúšobného stroja pre výskum kontaktnej únavy. Vzhľadom k požiadavkám na funkčnosť stroja je navrhnutá taká koncepcia riadenia, aby bolo umožnené vykonávať skúšky únavy testovaných vzoriek so širokým spektrom nastavenia otáčok a prešmyku pre rôzne priemery vzoriek.

Táto práca pojednáva o konkrétnych požiadavkách súvisiacich s riadením a postupe implementácie frekvenčných meničov modulárnej koncepcie, zvolených pre riadenie parametrov testovacieho zariadenia.

Kľúčové slová

testovacie zariadenie, Sinamics G120, modulárny systém, asynchrónny motor, rekuperácia, pohonná jednotka, regulácia otáčok, vektorové riadenie, oteplenie

Abstract

Presented Master thesis deals with the proposal of operation of the electromotor driven mechanism of the test machine for research of contact endurance of materials. With respect to the functionality of the machine, the conception of operation is proposed in the way to allow endurance tests for various diameters of examined specimens with ability to use wide spectrum of engine revolution and overthrust. The thesis deals with concrete requirements related with controlling and implementation of frequency changers of modular conception chosen for controlling of parameters of test machine.

Keywords

test machine, Sinamics G120, modular system, asynchronous engine, recuperation, driving mechanism, regulation of revolutions, vector regulation, warming

Zoznam použitých symbolov a skratiek

| | | |
|-----------------|-------------------------|--|
| AM | | asynchrónny motor |
| AI | | analogový vstup (Analog Input) |
| AO | | analogový výstup (Analog Output) |
| BOP | | operátorský panel (Basic Operator Panel) |
| CU | | riadiaca jednotka (Control Unit) |
| DI | | digitálny vstup (Digital Input) |
| DO | | digitálny výstup (Digital Output) |
| EMC | | elektromagnetická kompatibilita |
| FU | | poistka (Fuse) |
| IOP | | inteligentný operátorský panel |
| KM | | stykač |
| TN | | sieť TN (Terra Neutral) |
| PROFIBAS | | priemyselná zbernica dát v automatizácii |
| PROFINET | | otvorený komunikačný štandard |
| PWM | | impulzná šírková modulácia |
| RAM | | typ pamäte (Random Access Memory) |
| E1, E2 | (Pa) | moduly pružnosti v ťahu kontaktných telies |
| F _c | (N.mm ⁻¹) | tlaková sila na jednotku dĺžky |
| h | (mm) | šírka vzoriek |
| M _H | (N.m) | hnací moment |
| M _n | (N.m) | menovitý moment |
| n | (ot.min ⁻¹) | otáčky |
| n _s | (ot.min ⁻¹) | synchrónne otáčky |
| P | (W) | výkon |
| p _o | (Pa) | maximálny tlak |
| s | (%) | sklz |
| τ | (s) | časová konštanta |
| θ | (°C) | teplota |
| Δθ | (°C) | oteplenie |
| Δθ ₁ | (°C) | maximálne oteplenie vinutia |
| ω | (rad.s ⁻¹) | uhlová rýchlosť |

OBSAH

| | | |
|----------|---|---------------|
| 1 | ÚVOD | - 1 - |
| 2 | TEORETICKÝ ROZBOR POHONU PRE TESTOVANIE ŠMYKOVEJ ÚNAVY OCELÍ | - 2 - |
| 2.1 | SÚČASNÝ STAV ZARIADENIA | - 2 - |
| 2.2 | ÚČEL STROJA A JEHO KONCEPČNÝ NÁVRH | - 2 - |
| 2.2.1 | <i>Klasifikácia realizovateľných skúšok</i> | <i>- 2 -</i> |
| 2.2.2 | <i>Špecifikácia pohonnej jednotky.....</i> | <i>- 2 -</i> |
| 2.3 | REALIZÁCIA POHONU VZORIEK DVOMA NEZÁVISLÝMI ELEKTROMOTORMI | - 3 - |
| 2.4 | KONŠTRUKČNÉ PREVEDENIE TESTOVACIEHO STROJA | - 3 - |
| 2.4.1 | <i>Systém pravého a ľavého pohonu.....</i> | <i>- 4 -</i> |
| 2.5 | VÝPOČET PARAMETROV PRE VÝBER ELEKTROMOTORA | - 4 - |
| 2.5.1 | <i>Maximálny výkon elektromotoru.....</i> | <i>- 5 -</i> |
| 2.6 | VLASTNOSTI FYZICKÉHO POHONU | - 5 - |
| 3 | KONCEPCIA RIADENIA POHONU..... | - 7 - |
| 3.1 | RIADENIE OTÁČOK AM ZMENOU KMITOČTU CEZ FREKVENČNÉ MENIČE | - 7 - |
| 3.1.1 | <i>Základné vlastnosti AM pracujúceho cez menič</i> | <i>- 7 -</i> |
| 3.2 | MENIČE KMITOČTU V ENERGETIKE..... | - 8 - |
| 3.2.1 | <i>Typy riadenia meničov</i> | <i>- 9 -</i> |
| 3.2.2 | <i>Spínací kmitočet meničov</i> | <i>- 10 -</i> |
| 4 | TECHNICKÝ NÁVRH RIEŠENIA, RIADENIE OTÁČOK POMOCOU MENIČOV SINAMICS | - 11 - |
| 4.1 | PRINCIPIÁLNA SCHÉMA RIADENIA ELEKTROMOTOROV | - 11 - |
| 4.2 | SINAMICS G120 | - 12 - |
| 4.2.1 | <i>Výkonové jednotky PM</i> | <i>- 12 -</i> |
| 4.2.2 | <i>Riadiaca jednotka CU240S.....</i> | <i>- 16 -</i> |
| 4.2.3 | <i>Basic Operator Panel BOP.....</i> | <i>- 17 -</i> |
| 5 | SPOŽIADAVKY NA REGULÁCIU..... | - 18 - |
| 5.1 | SPÔSOB REGULÁCIE ZARIADENIA PRE VÝSKUM KONTAKTNEJ ÚNAVY | - 18 - |
| 5.1.1 | <i>Počiatočný rozbeh testovacieho stroja (uvedenie do prevádzky)</i> | <i>- 18 -</i> |
| 5.1.2 | <i>Rozdiel veľkosti otáčok pre uvažované zaťaženia</i> | <i>- 20 -</i> |
| 5.2 | MERANIE OTEPLOVACÍCH SKÚŠOK | - 21 - |
| 5.2.1 | <i>Testované otáčky</i> | <i>- 21 -</i> |
| 5.2.2 | <i>Parametre technických prostriedkov využitých pri skúške</i> | <i>- 21 -</i> |
| 5.2.3 | <i>Nastavenie parametrov softvérových prostriedkov využitých pri skúške</i> | <i>- 23 -</i> |
| 5.3 | OTEPLOVACIE SKÚŠKY – A | - 24 - |
| 5.4 | OTEPLOVACIE SKÚŠKY – B | - 26 - |
| 5.5 | OTEPLOVACIE SKÚŠKY – C | - 28 - |
| 5.6 | ANALÝZA OTEPLENIA VINUTIA..... | - 30 - |

| | | |
|----------|--|---------------|
| 5.6.1 | <i>Analýza oteplenia – skúška A</i> | - 30 - |
| 5.6.2 | <i>Analýza oteplenia – skúška B</i> | - 31 - |
| 5.6.3 | <i>Analýza oteplenia – skúška C</i> | - 32 - |
| 5.7 | ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV OTEPLOVACÍCH SKÚŠOK..... | - 33 - |
| 6 | TECHNICKÝ POPIS RIEŠENIA | - 34 - |
| 6.1 | TECHNICKÁ SPRÁVA..... | - 34 - |
| 6.1.1 | <i>Všeobecný popis zariadenia</i> | - 34 - |
| 6.1.2 | <i>Platnosť projektu</i> | - 35 - |
| 6.1.3 | <i>Vonkajšie vplyvy určené podľa platných noriem</i> | - 35 - |
| 6.1.4 | <i>Predpisy a normy</i> | - 36 - |
| 6.1.5 | <i>Bezpečnostné predpisy</i> | - 36 - |
| 6.1.6 | <i>Napäťové sústavy</i> | - 36 - |
| 6.1.7 | <i>Inštalovaný výkon</i> | - 37 - |
| 6.1.8 | <i>Dispozičné riešenie</i> | - 37 - |
| 6.1.9 | <i>Funkčné riešenie</i> | - 39 - |
| 6.1.10 | <i>Istiac a ochranné prvky</i> | - 41 - |
| 6.1.11 | <i>Ochrana pred spätnými vplyvmi (rušením) na sieť</i> | - 41 - |
| 6.1.12 | <i>Ochrana pred úrazom elektrickým prúdom</i> | - 41 - |
| 7 | ZÁVER | - 42 - |
| 8 | POUŽITÁ LITERATÚRA | - 43 - |
| 9 | ZOZNAM PRÍLOH | - 44 - |

1 ÚVOD

Pre dnešnú dobu je typické, že dochádza k neustálemu rozvoju technologických produktov v oblasti dopravných prostriedkov. Jednou z týchto oblastí je aj dobre známa koľajová doprava, kde sa pre potreby všetkých druhov prepravy osôb a hmotných objektov využívajú hnacie vozidlá a k nim pripojené ťahané vozidlá.

Počas celej životnosti sú valivé časti, predovšetkým dotykové plochy kolies, týchto prostriedkov vystavené mechanickému namáhaniu, ktoré spôsobuje ich deformáciu alebo iné poškodenia. Z hľadiska bezpečnosti a zabezpečenia komfortu dopravy pri vysokých rýchlostiach vozidiel je potrebné zabrániť nežiaducej únave kľúčových materiálov využívaných v tejto oblasti. Pre dosiahnutie požadovaných kvalitatívnych vlastností a včasného odhalenia štrukturálnych porúch ako aj iných nedostatkov, je potrebné zrealizovať efektívne testovanie spomenutých častí dopravných prostriedkov pred uvedením do prevádzky. Práve tu, zohráva nezanedbateľnú úlohu kvalitné testovacie zariadenie pre výskum kontaktnej únavy ocelových materiálov.

Predložená diplomová práca nadväzuje na projekt: „Koncepční návrh úprav zkušebního stroje pro výzkum kontaktní únavy.“

Predmetom tejto práce je určiť a zaistiť optimálne podmienky riadenia dvoch pohonných jednotiek, ktoré sú nutnou súčasťou tohto zariadenia. S týmito požiadavkami súvisí aj výber vhodných technických prostriedkov, ktorými bude možné dosiahnuť rekuperáciu energie do siete i ostatné stanovené ciele.

Druhá kapitola pojednáva o možnostiach použitia zariadenia a typoch skúšok, ktoré je možné na základe jeho koncepcie vykonávať. Sú v nej charakterizované i vlastnosti zvolených elektromotorov. Tretia kapitola sa zaoberá využitím frekvenčných meničov v oblasti riadenia asynchrónnych motorov a sú v nej definované pojmy typické pre oblasť takéhoto typu riadenia. V nasledujúcej kapitole sú predstavené konkrétne navrhnuté typy modulárnych meničov kmitočtu, ktoré budú využité v projekte testovacieho systému. Piata kapitola prináša konkrétne požiadavky týkajúce sa regulácie pohonných jednotiek, analýzy úrovne testovacích otáčok pre rôzne zaťaženia systému, a zároveň sú v nej špecifikované potrebné softvérové nastavenia riadiacich jednotiek v rámci regulácie otáčok. Z praktického merania otepľovacích skúšok vinutia asynchrónneho motoru spracovaných v tejto kapitole sú vynesené grafy. V závere tejto kapitoly sú zhodnotené výsledky meraní a ich dopady na testovacie zariadenie. Technický návrh riešenia ohľadom inštalácie všetkých potrebných elektrotechnických prostriedkov v danom objekte so systémom, je rozpracovaný v šiestej kapitole. Záverečné zhodnotenie práce a ďalšie návrhy sú k dispozícii v siedmej kapitole.

Súčasťou diplomovej práce je i súbor výkresov situačného rozmiestnenia a prehľadovej schémy.

2 TEORETICKÝ ROZBOR POHONU PRE TESTOVANIE ŠMYKOVEJ ÚNAVY OCELÍ

Zariadenie pre testovanie šmykovej únavy oceli je navrhnuté na VŠB TU Ostrava.

2.1 Súčasný stav zariadenia

VŠB – TU Ostrava fyzicky disponuje v súčasnosti dvoma skúšobnými zariadeniami pre výskum kontaktnej únavy materiálov. Vzhľadom k neustále rastúcim požiadavkám pri výskume bola navrhnutá nová koncepcia stroja, s dvoma nezávislými pohonnými jednotkami, ale nebol navrhnutý spôsob riadenia týchto jednotiek.

2.2 Účel stroja a jeho koncepčný návrh

Skúšobný stroj pre výskum únavy ocele má významné použitie pri vykonávaní únavovej skúšky na vzorkách ocele. Takéto testy ocele sú významné pre viaceré druhy odvetví. Množstvo strojných súčastí je počas prevádzky, ale i mimo nej značne namáhaných. To môže spôsobiť zmenu v štruktúre materiálov a ich mechanických vlastností, čo má za následok vznik trhlín a únavových lomov.[1] V technickej praxi sa často stretávame s touto problematikou napríklad pri kontakte kolesa železničného rušňa s povrchom koľajnice. Pre korektnú realizáciu testov sú dôležité nastavitel'né parametre zariadenia – nastavenie otáčok a rozmerových parametrov (napr. priemeru) skúšaných vzoriek.

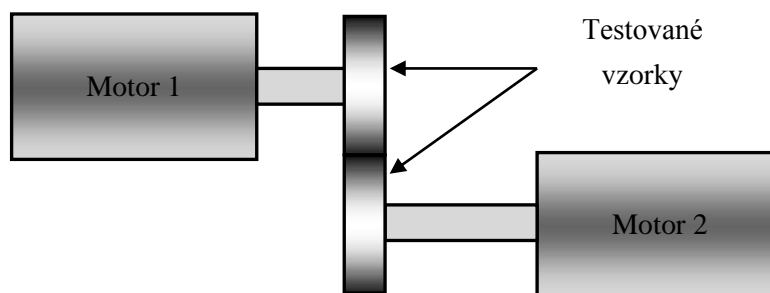
2.2.1 Klasifikácia realizovateľných skúšok

Skúšky môžu byť realizované pri rovnakej, alebo rozdielnej obvodovej rýchlosti zaoblených materiálov (jedna vzorka môže predstavovať koleso vlaku, druhá koľajnicu). V prvom prípade sa jedná o skúšku s voľným valením materiálu a v druhom o testovanie s núteným prešmykom. Koncept návrhu stroja umožňuje realizovať oba typy skúšok, čo je výhodné nielen z ekonomického hľadiska. V praxi majú väčší význam skúšky s núteným prešmykom, pretože pri nich vznikajú omnoho väčšie mechanické a samozrejme i štrukturálne deformácie ocele. To vedie k objektívnejšiemu testovaniu a zisteniu nedostatkov v štruktúre materiálov, prípadne ich vlastností.

2.2.2 Špecifikácia pohonnej jednotky

Ako najvýhodnejší pre dosiahnutie potrebných otáčok a sklzu sa javí nezávislý pohon oboch testovaných vzoriek dvoma elektromotormi, čo je u navrhnutého zariadenia splnené. Výhodou tohto konceptu je dosiahnutie čo najväčšej kvality testov a s nimi spojeného rozsahu praktického využitia výsledkov. Nevýhodou sú vyššie obstarávacie náklady hnacích motorov a ich riadiacich systémov.

2.3 Realizácia pohonu vzoriek dvoma nezávislými elektromotormi



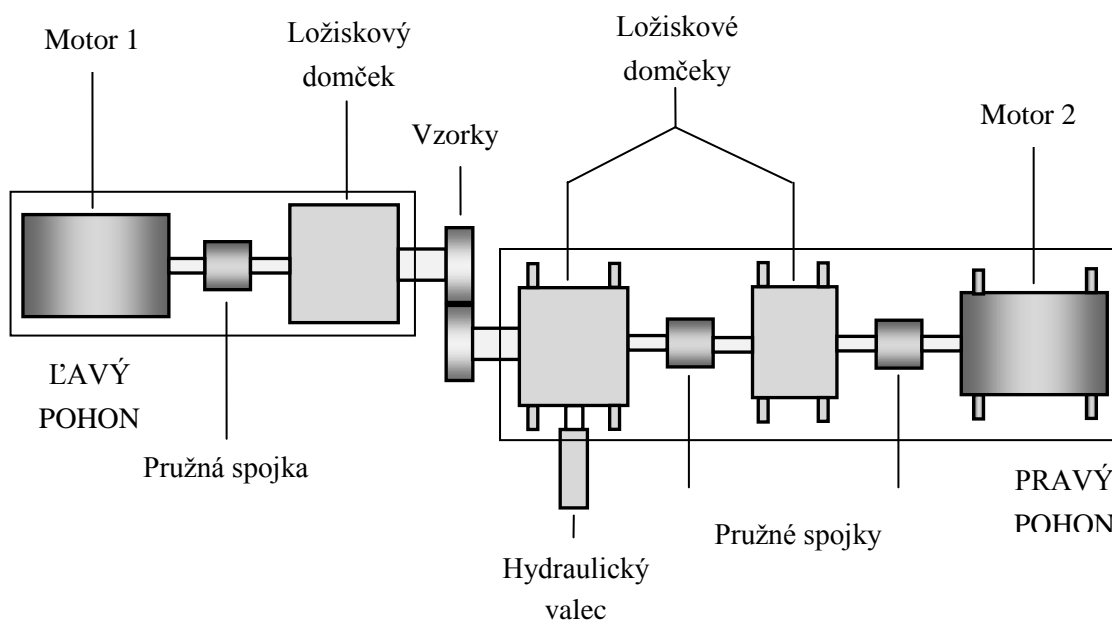
Obrázok 1: Koncepcia pohonu s použitím dvoch elektromotorov

Návrh stroja obsahuje dve nezávislé hnacie jednotky (obrázok 1), čo v konečnom dôsledku spolu s vhodným systémom riadenia umožní realizovať skúšky s núteným prešmykom.

Navrhnutý stroj umožňuje vďaka flexibilnej konštrukcii prevádzať skúšky pre rôzne priemery subjektov, pri rôzne nastaviteľných hodnotách prešmyku. Nastavenie prešmyku je podmienené zmenou otáčok jedného z motorov. Použitím snímača točivého momentu je tiež možné uskutočniť skúšku s riadením záťažového momentu.

Agregát nie je príliš energetický náročný, pretože pohon s nižšími otáčkami bude pracovať v generátorickom režime, čo umožní rekuperáciu energie do napájací siete. Z toho plynie čiastočná úspora energie.

2.4 Konštrukčné prevedenie testovacieho stroja



Obrázok 2: Konštrukčné prevedenie stroja

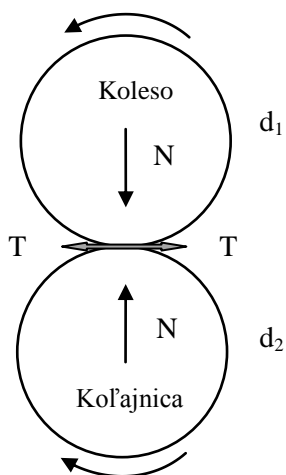
2.4.1 Systém pravého a ľavého pohonu

Ľavý pohon sa skladá z elektromotoru, pružnej spojky a ložiskového domčeka, v ktorom sú naklápacie dvojradé súdočkové ložiská pre kompenzáciu síl pôsobiacich v radiálnom, ale i v axiálnom smere.[1]

Pravý pohon je rovnako tvorený elektromotorom rovnakého typu, dvoma ložiskovými domčekmi a pružnej spojky. Tieto časti agregátu slúžia ako lokálne medzičlánky. Konštrukcia ložiskového domčeka určeného pre uchytenie vzorky na hriadeľ je prispôbena tak, aby bolo možné k nemu upevniť závesné oko priamočiareho hydromotora. Ten slúži pre vyvinutie potrebného prítlaku medzi vzorkami. Činnosť hydromotora je závislá od riadenia hydraulického obvodu.[1]

2.5 Výpočet parametrov pre výber elektromotora

Jedným z dôležitých faktorov pre voľbu motora je zistenie potrebného hnacieho momentu.



Obrázok 3 [1]

- $d1$ a $d2$ – priemery vzoriek

Hnací moment

Ak predpokladáme, že vzorky na obrázku 3 majú rovnaký priemer d , potom dostaneme nasledujúci vzťah:

$$M_H = \underbrace{\frac{1}{4} \cdot \left(\frac{p_0}{0,59} \right)^2 \cdot d \cdot \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)}_{\text{Kontaktná sila } F' [N \cdot mm^{-1}]} \cdot h \cdot f_T \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

Rovnica 1: Vzťah pre výpočet hnacieho momentu [1]

- E_1 a E_2 - moduly pružnosti oboch materiálov
- F' - nutná kontaktná sila, potrebná k dosiahnutiu maximálneho tlaku p_0
- h - šírka vzoriek
- f_T - trakční súčiniteľ trenia závislý na miere prešmyku, otáčkach vzoriek a ich opotrebení a veľkosti kontaktného tlaku

Praktické skúsenosti preukázali, že nie je nutné vykonávať skúšky pri tlaku väčšom než 1200 MPa.[1] Zhodný prípad platí i pre veľkosť otáčok vzoriek.

2.5.1 Maximálny výkon elektromotoru

Je nutné určiť potrebný výkon elektromotora na dosiahnutie optimálnych výsledkov v súlade s vyššie požadovanými parametrami.

$$P = M_H \cdot \Omega = M_H \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (kW)$$

Rovnica 2: Vzťah pre výpočet výkonu motoru [1]

Dosadením rovnice 1 do rovnice 2 a doplnením číselných hodnôt ($d=85 \text{ mm}$; $h=10 \text{ mm}$; $f_T=0,45$; $E=210000 \text{ MPa}$; $p_0=1200 \text{ MPa}$; $n=1500 \text{ ot/min}$), dostaneme hodnotu požadovaného výkonu $P = 30 \text{ kW}$ a $M_H = 160 \text{ Nm}$. [1]

2.6 Vlastnosti fyzického pohonu

Zvolené motory pre pohon vzoriek sú štvorpólové – Siemens 200, typ 1LG4 207 – 4AA60-Z.

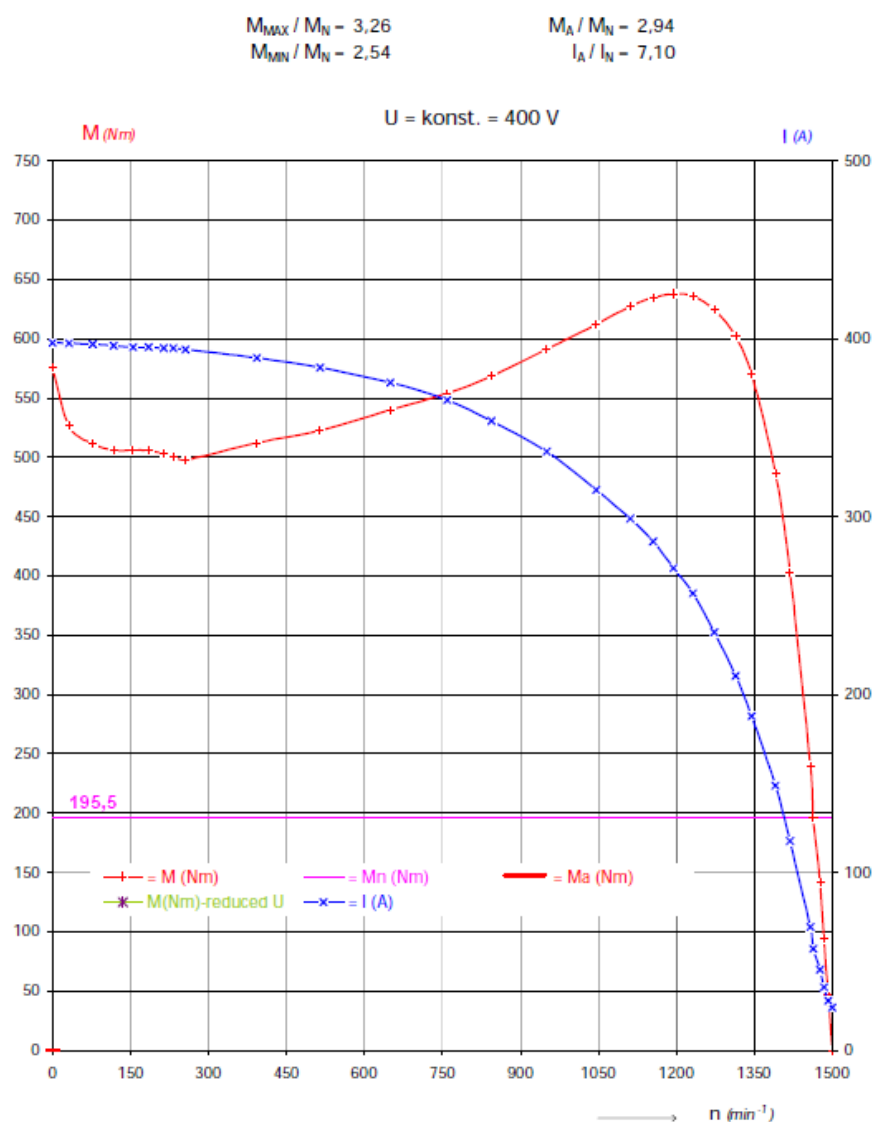
Jedná sa o nízkonapäťový trojfázový asynchrónny motor s rotorom nakrátko, jeho parametre sú zhrnuté v tabuľke 1. Jeden z motorov bude pracovať v motorickom režime a druhý môže pracovať (v prípade skúšky s núteným prešmykom) v režime generátorickom. V technickom riešení riadenia pohonov je nutné uvažovať aj nad možnosťou rekuperácie.

Tabuľka 1: Parametre zvoleného motoru Siemens [8]

| | | | |
|---------------------|-------|--|-----|
| Menovitý výkon [kW] | 30 | Pomerný záberný moment pri priamom spustení na sieť v násobkoch menovitého momentu | 2,5 |
| Veľkosť | 200 L | Pomerný záberný prúd pri priamom spustení na sieť v násobkoch menovitého prúdu | 6,7 |
| Trieda účinnosti | 2 | Pomerný moment zvratu pri priamom spustení na sieť v násobkoch menovitého momentu | 3,4 |

| | | | |
|---|------------|---|-------|
| Menovité otáčky [min ⁻¹] | 1465 | Momentová třída KL | 16 |
| Účinnost η při 4/4 a 3/4 menovitého výkonu [%] | 91,6; 92,0 | Momentové pásmo | 3 |
| Účinník $\cos\phi$ při 4/4 a 3/4 menovitého výkonu | 0,85; 0,80 | Moment zotrvačnosti J [kg.m ²] | 0,191 |
| Menovitý proud při 400 V [A] | 56 | Počet pólů | 4 |
| Menovitý moment [Nm] | 196 | Přibližná hmotnost [kg] | 205 |

Na obr. 4 je znázorněná závislost proudu a momentu na otáčkách AM, charakteristika je poskytnutá výrobcem AM.



Obrázok 4: Charakteristiky zvoleného motora

3 KONCEPCIA RIADENIA POHONU

K vyššie popísanému testovaciemu stroju je nutné zvoliť vhodný koncept riadenia pohonných jednotiek pre dosiahnutie žiadaných výsledkov. Do úvahy je nutné brať široký rozsah plynulého riadenia otáčok a to nezávisle na oboch motoroch (pre dosiahnutie potrebného prešmyku). Ďalším, nezanedbateľným prvkom sú primerané ekonomické náklady vynaložené na flexibilný riadiaci prvok, ktorý disponuje vysokou mierou funkčnosti a účinnosti. Neopomenuteľnými aspektami sú tiež hmotnostné, rozmerové a ekologické faktory riadiaceho mechanizmu.

Existuje niekoľko variant riadenia otáčok, ktoré majú svoje výhody i nevýhody.

$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) = f(f, p, s)$$

Rovnica 3: Vzťah pre otáčky AM [2]

- s – sklz
- f – kmitočet
- p – počet pólových dvojíc
- n_s – synchronne otáčky

Z predchádzajúceho vzťahu je zrejmé, že zmenu otáčok možno dosiahnuť zmenou sklzu, kmitočtu alebo zmenou počtu pólových dvojíc.

3.1 Riadenie otáčok AM zmenou kmitočtu cez frekvenčné meniče

Najefektívnejšie a najhospodárnejšie riadenie otáčok z hľadiska navrhnutých motorov, priestorovej disponibilnosti a vyššie uvedených požiadaviek, je riadenie zmenou kmitočtu napájacieho napätia. Toto riadenie sa používa u motorov s kotvou nakrátko.[10]

3.1.1 Základné vlastnosti AM pracujúceho cez menič

AM pracujúce cez menič sú špeciálne navrhnuté pre tento účel. Pri návrhu sa vychádza zo štandardných motorov (AM pre všeobecné použitie) s normalizovanými veľkosťami kostry a rozmermi. Typické momentové charakteristiky AM napájaných z meničov významne ovplyvňujú rôzne faktory. Maximálne dosiahnuteľný moment je obmedzený menovitými hodnotami motoru a prúdovým obmedzením meniča. Maximálne otáčky sú obmedzené mechanickou pevnosťou a stabilitou rotoru, prípustnými otáčkami ložísk a inými mechanickými parametrami. Rozsah otáčok motoru napájaného z meniča môže zahŕňať otáčky, ktoré môžu v systéme hriadeľa spojujúceho motor a záťaž vybudieť rezonancie – tzv. pásma rezonančných otáčok. Moderné meniče umožňujú eliminovať pásma rezonančných otáčok. [3]

V závislosti na požiadavkách pre vlastnosti systému výkonového pohonu sú k dispozícii rôzne návrhy motorov.

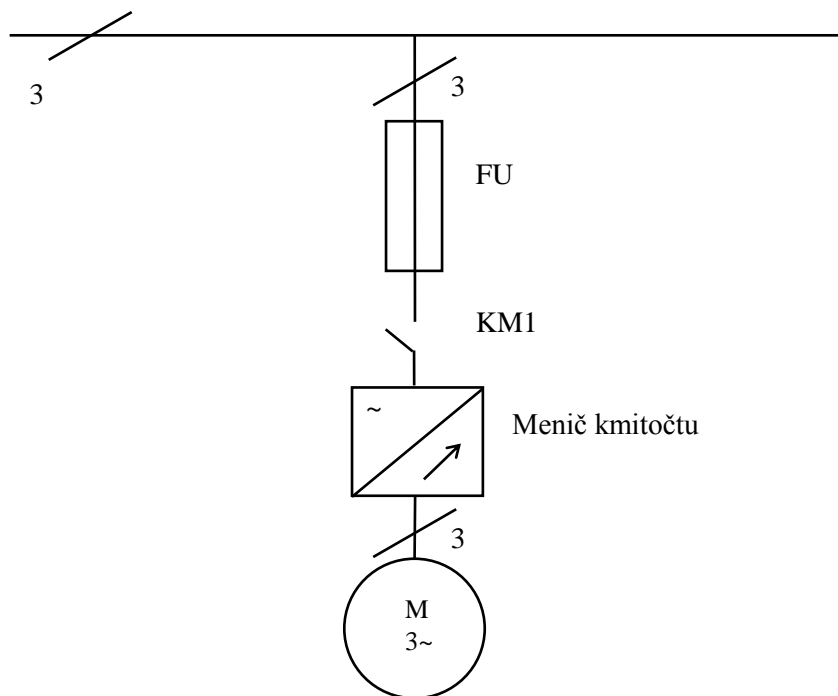
Zapojenie meniča do obvodu s AM je na obrázku 5, kde medzi riadený AM a napájaciu sieť je zapojený trojfázový menič kmitočtu.[4]

3.2 Meniče kmitočtu v energetike

Menič (converter) – je pracovná jednotka pre elektronickú premenu energie. Umožňuje zmenu jednej alebo viacerých elektronických charakteristík a zahŕňa množstvo elektronických spínacích súčiastok spolu s pridruženými časťami ako sú filtre, transformátory, riadiace zariadenia a iné.[3]

Súčasný rozvoj polovodičovej techniky umožňuje výrobu takých polovodičových prvkov (napr. tyristory, triaky a iné), ktoré sú využiteľné v oblasti riadenia kmitočtu pre výkonovo menej náročné aplikácie, ale vyhovujú i náročným energetickým požiadavkám. Stáva sa trendom, že práve polovodiče nahrádzajú staršie a neefektívne zariadenia pre zmenu kmitočtu a to všade tam, kde je to možné. Výkonové polovodičové súčiastky sa vo veľkom množstve využívajú pre konštrukciu tzv. meničov kmitočtu. Meniče kmitočtu v spojení s asynchrónnymi motormi predstavujú spoľahlivú kombináciu z hľadiska presnosti riadenia, ale aj životnosti, pretože AM majú pomerne jednoduchú konštrukciu (bez komutátoru) a tým pádom nie sú náročné na údržbu.

Hlavnou prednosťou meničov frekvencie je plynulá zmena výstupného kmitočtu v širokom rozsahu a následná zmena otáčok 3fázového AM.[4]

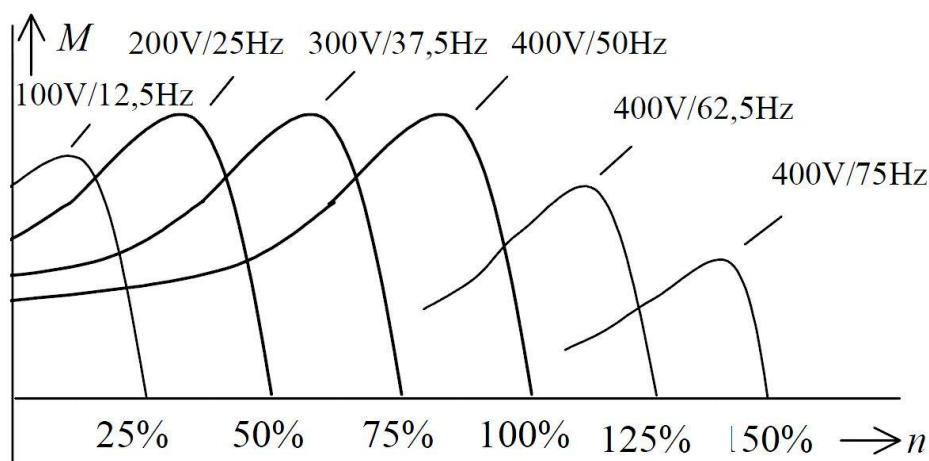


Obrázok 5: Zaradenie meniča kmitočtu do obvodu s AM [4]

3.2.1 Typy riadenia meničov

Existujú základné spôsoby riadenia:

- a) **skalárne U/f riadenie** – je riadenie pri konštantnom pomere napätia a kmitočtu na vstupe AM, t.j. pri konštantnom magnetickom toku motora pre kmitočty v medziach od 0 do 50 Hz. Tvar momentových charakteristík ostáva zachovaný, ale jednotlivé charakteristiky pre rôzne veľké kmitočty sú posunuté.[4]



Obrázok 6: Posun charakteristík pre rôzne kmitočty

V meniči pracujúceho na skalárnom princípe riadenia je výstupné napätie riadené podľa výstupného kmitočtu. Zvýšenie napätia má väčší vplyv pri nízkych otáčkach, kedy je napätie motoru nízke, pričom je nutné zaistiť, aby zvýšené napätie nebolo také vysoké, pretože by došlo k nasýteniu motora.[3]

Modernejšie skalárne riadenia využívajú špeciálne algoritmy pre dynamickú kompenzáciu úbytku napätia spôsobeného odporom a indukčnosťou statoru motora. To zaisťuje ešte lepšie rozbehové charakteristiky v oblasti nízkych otáčok. Pri použití prídavných signálov spätnej väzby napätia a prúdu motoru sa môžu vytvárať podobné hodnoty momentu ako pri vektorovom riadení v oblasti nízkého kmitočtu. Skalárne riadenie je použiteľné v prípadoch, kde sa nevyžaduje rýchla reakcia na povely týkajúce sa momentu a otáčok (ventilátory) a pri napájaní viacerých motorov z jedného meniča.[3]

- b) **vektorové riadenie** – je s vektorovým riadením magnetického toku, prípadne i momentu. Umožňuje navyše prevádzku s plným momentom i pri nulových otáčkach.

Základnou podmienkou vektorového riadenia trojfázového asynchrónneho motora je oddelenie regulačných obvodov pre moment a magnetický tok. Toto oddelenie sa dosiahne pomocou výpočtu charakteristík motora za použitia náhradného obvodu so signálmi spätnej väzby otáčok, alebo bez týchto signálov.[3] Tým sa zabráni ich vzájomnému ovplyvňovaniu. Regulačným obvodom mo-

mentu sa nastavuje moment motoru, teda činný výkon. Regulačným obvodom magnetického toku sa realizuje výsledný magnetický tok stroja (jalový výkon).[5]

Samotný princíp vektorového riadenia spočíva v rozložení priestorového vektora statorového prúdu do dvoch kolmých zložiek v rotujúcom súradnicovom systéme, ktorý môže byť orientovaný na priestorový vektor statorového alebo rotorového magnetického toku, prípadne na priestorový vektor výsledného magnetického toku. Zložky priestorového vektora statorového prúdu potom určujú moment a magnetizáciu stroja. Momentová zložka vektora statorového prúdu určuje spoločne s príslušným vektorom magnetického toku moment stroja. Magnetizačná zložka ležiaca v smere vektora magnetického toku ovplyvňuje magnetizáciu motoru.[5], [10]

c) *priame riadenie toku a momentu* – využíva princíp priameho riadenia momentu a toku (DTC).

Menič s priamym riadením momentu a toku má hysterézný typ riadenia, pri ktorom sa nastavuje tok a moment motoru pomocou výpočtu matematického modelu motoru, rovnako ako pri vektorovom riadení. Pri riadení neexistuje žiadny modulátor. Každý spínací prechod každého výkonového polovodiča v meniči sa považuje za samostatný. Cieľom tohto riadenia je čo najrýchlejšie dosiahnuť požadovaný moment a otáčky.[3]

Základom je vytvorenie točivého magnetického poľa v statore pomocou výkonového meniča (napäťový striedač), pričom rýchlosť otáčania magnetického poľa a tým i veľkosť momentu je možné riadiť impulzným spínaním nulového vektora napätia, alebo impulzným prepínaním smeru otáčania vektora statorového magnetického toku.

Porovnanie vektorového a priameho riadenia

Výhody priameho riadenia (oproti vektorovému):

- absencia transformácie z orientovaného systému súradníc
- absencia bloku pre impulzne šírkovú moduláciu (PWM)
- absencia bloku pre zrušenie väzby medzi zložkami vektora statorového prúdu

Nevýhody priameho riadenia (oproti vektorovému):

- problémy pri práci vo veľmi nízkych otáčkach a pri reverzácii riadeného motoru
- meniace sa spínacie frekvencie
- vyšší rozkmit momentu

3.2.2 Spínací kmitočet meničov

Spínací kmitočet meniča ovplyvňuje straty v motore a meniči, akustický hluk a zvlnenie momentu celého systému. Presné údaje o týchto vplyvoch sa získavajú veľmi náročným postupom.

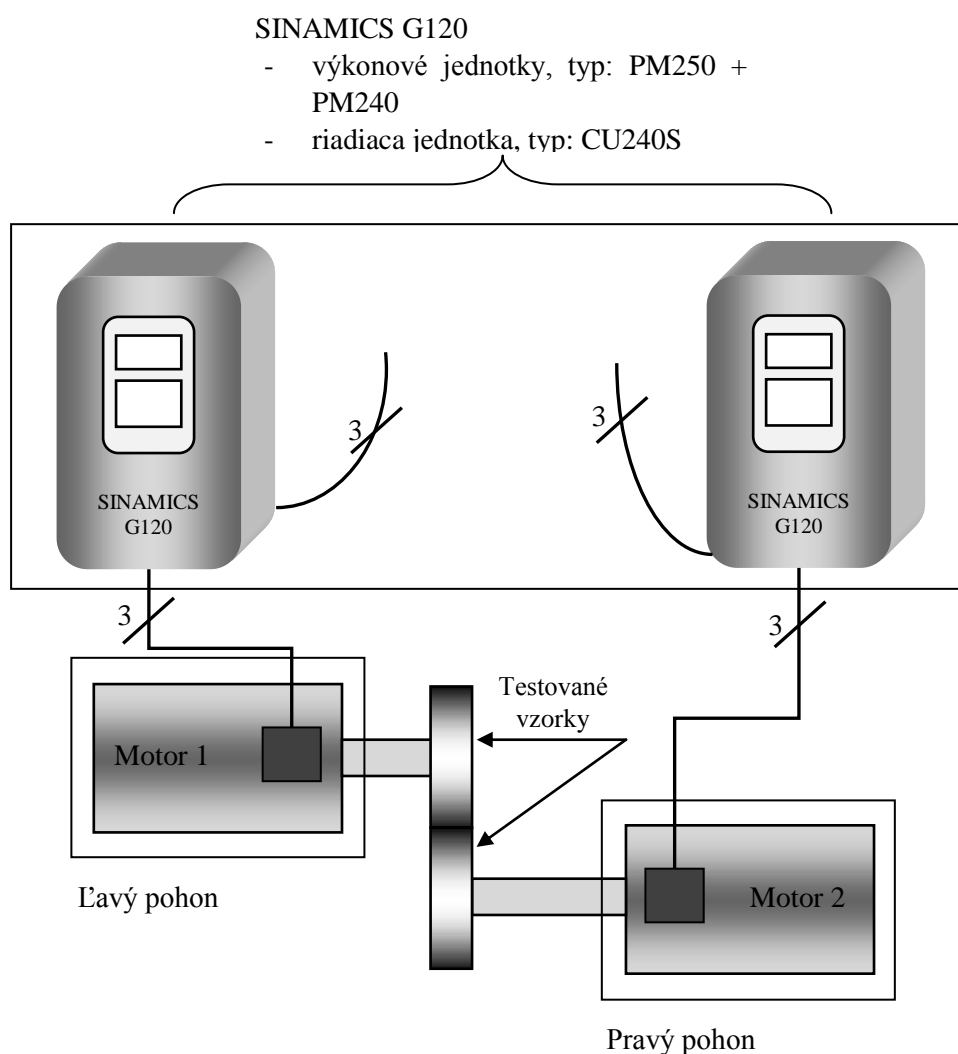
4 TECHNICKÝ NÁVRH ŘEŠENIA, RIADENIE OTÁČOK POMOCOU MENIČOV SINAMICS

Firma Siemens ponúka pre oblasť riadiacej techniky širokú škálu výkonových frekvenčných meničov rady G, k nim potrebné výkonové jednotky rady PM a pre ľahkú obsluhu tiež programovateľné riadiace jednotky rady CU.

Tieto produkty sú vhodnou voľbou i pre riadenie pohonov testovacieho zariadenia z hľadiska obstarávacích nákladov a funkčnosti jednotlivých modulov z ktorých pozostáva systém G.

4.1 Principiálna schéma riadenia elektromotorov

Na nasledujúcom obrázku je graficky znázornené zapojenie meničov rady G, pre potreby riadenia testovacieho zariadenia.



Obrázok 7: Konceptia riadenia pohonu s modulárnym systémom SINAMICS G120

4.2 Sinamics G120

Pod označením Sinamics G120 sa rozumie modulárny systém meničov firmy Siemens, ktorý je prispôsobiteľný podľa špecifických požiadaviek zákazníka. Je vyvinutý s dôrazom na najčastejšie používané funkcie pri regulácii AM.[6] Je výhodné, že systém možno kedykoľvek doplniť o potrebné výkonové príp. riadiace a iné moduly.

Modulárna štruktúra:

- *ovládací panel*
- *riadiaca jednotka*
- *výkonová jednotka*

Výkonová jednotka typu PM250 meničov SINAMICS G120 disponuje funkciou, ktorá umožňuje rekuperáciu energie. Nie je teda nutné zaobstarávať ďalšie doplňujúce externé prvky zaisťujúce rekuperáciu.

4.2.1 Výkonové jednotky PM

Pre potreby skúšobného zariadenia je zvolený menič Sinamics G120 – obsahujúci výkonové jednotky a riadiace jednotky.

PM240 – jednotka určená pre motor s výkonom do 30 kW, obsahuje jednosmerný medziobvod pre adekvátne riadenie motoru. Pre potreby rekuperácie je jednotka nevyhovujúca, nakoľko by bola brzdená energia menená na teplo v externom odpore. Prípustné dĺžky vedenia medzi meničom a motorom sú obmedzené. Pre väčšie dĺžky vedenia je nutné pripojiť výstupné výkonové tlmivky.[7] Pri nutnosti minimalizácie spätných účinkov na sieť je možné použiť sieťové tlmivky. Konštrukčne sú k dispozícii jednotky bez integrovaného sieťového filtra i s integrovaným sieťovým filtrom – tie sú vhodné pre pripojenie k TN sieťam. V aplikácii pre testovací stroj sú navrhnuté jednotky so sieťovým filtrom



Obrázok 8: Konštrukčné prevedenie FSE jednotiek PM240/250

typu A a tomuto usporiadaniu zodpovedá konštrukčná veľkosť FSE. V rámci voliteľných komponentov je možné inštalovať na spodnej časti jednotky sieťovú tlmivku. Dostupné komponenty medziobvodu sú montované na bočnú stranu a patrí medzi ne napr. brzdný odpor. Ďalej je možné pripojiť v prípade potreby voliteľne aj výstupnú tlmivku a sínusový filter.

Usporiadanie zvolené pre testovacie zariadenie nezahŕňa výstupnú výkonovú tlmivku ani sínusový filter, z tohto dôvodu je možné použiť maximálnu dĺžku tieneneho kábla k motorickým jednotkám do 25 m (pri použití modelu so sieťovým filtrom).

V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hodnoty prúdu a dáta deratingu pre zvolenú jednotku pre riadenie testovacieho stroja (kat. č. 6SL3224 – 0BE33 - 0AA0).

Tabuľka 2: Veľkosti výkonov a dáta deratingu – PM240

| Konštrukčná veľkosť | Menovitý výkon (pri I_H) | Menovitý výkon (pri I_L) | Stratový výkon | Prierez pripojenia motoru | Derating prúdu, kábel do 25 m | Účinnosť η |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | (kW) | (kW) | (kW) | (mm ²) | (%) | (-) |
| FSE | 30 | 37 | 0,99 | 35 | 100 | >0,97 |

Uvedené výstupné prúdy je možné realizovať bez výstupnej tlmivky a sínusového filtru s tienеным káblom. Základné údaje o prúdoch a napätí sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3: Prúdy a napätie – PM240

| Konštrukčná veľkosť | Prevádzkové sieťové napätie | Výstupný kmitočet - vektorové riadenie | Základný záťažový prúd I_H | Základný záťažový prúd I_L | Menovitý prúd I_n |
|---------------------|-----------------------------|--|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| | (V) | (Hz) | (A) | (A) | (A) |
| FSE | 3 AC 380...480 ±10% | 0 - 200 | 60 | 75 | 75 |

- základom pre prúdy I_n a I_L je zaťažovací cyklus pre nízke preťaženie (LO)
- základom pre zaťažovací prúd I_H je zaťažovací cyklus pre vysoké preťaženie (HO)

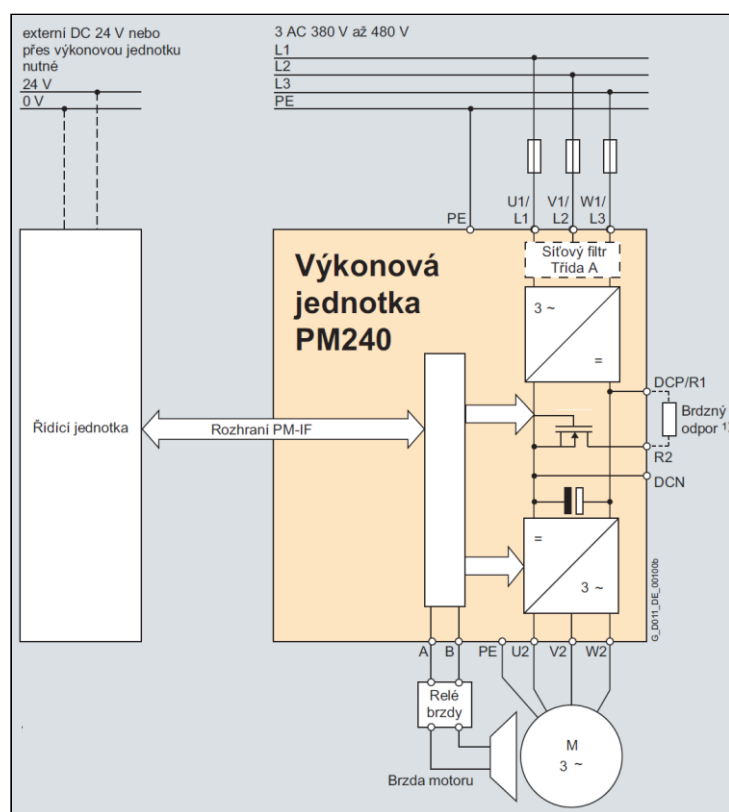
Chladienie jednotky PM240 je interné zabezpečené vnútornými ventilátormi. Táto jednotka poskytuje aj napájanie DC 24 V pre potreby riadiacej jednotky CU240S. Hmotnosť jednotky s integrovaným filtrom je cca 23 kg.

Vnútorná štruktúra jednotky je znázornená na obrázku 9.

Přetěžitelnost jednotky

PM240 umožňuje dva druhy přetěženia.

- *Vysoké přetěženie (high overload HO) - 0,37 – 75 (kW)*
 - 1,5 x menovitý výstupný prúd (150% přetěženie) během 57 s, s dobou cyklu 300 s
 - 2 x menovitý výstupný prúd (200% přetěženie) počas 3 s, pri dobe cyklu 300 s
- *Nízke přetěženie (light overload LO) - 0,37 – 250 (kW)*
 - 1,1 x menovitý výstupný prúd (110% přetěženie během) počas 57 s, s dobou cyklu 300 s
 - 1,5 x menovitý výstupný prúd (150% přetěženie) počas 3 s, s dobou cyklu 300 s



Obrázok 9: Štruktúra jednotky PM240

Výkonová jednotka PM250 - pre motor s výkonom do 30 kW, špeciálna technológia umožňuje v generátorickom režime vracanie kinetickej energie motoru a záťaže späť do napájacej siete (tzv. elektronické brzdenie), čím poskytuje zásadné úspory energie oproti jednotke PM240.[6] Odpadajú tým aj náklady na dimenzovanie brzdného odporu. Výhoda tejto technológie spočíva aj v tom, že dokáže zabezpečiť aj menší počet vyšších harmonických vln.

Rovnako ako predchádzajúca jednotka, PM250 umožňuje konštrukčné prevedenie s integrovaným sieťovým filtrom triedy A alebo bez neho. Pre projekt testovacieho zariadenia je zvolený konštrukčný typ FSE (kat. č. 6SL3225 – 0BE33 - 0AA0) s integrovaným sieťovým filtrom.

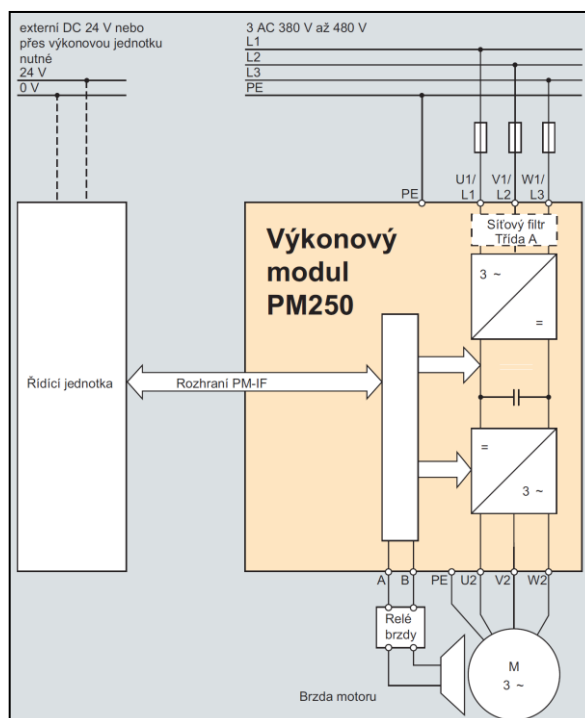
Výhody jednotky PM250 v porovnaní s PM240:[4]

- *nízka hodnota harmonických prúdov na vstupe nevyžaduje použitie sieťovej tlmivky*
- *nie je potrebný externý brzdný rezistor*
- *úspora elektrickej energie*
- *negenerovanie tepla pri brzdení*
- *kompenzácia jalového výkonu*

Uvedené dáta v tabuľkách 2a 3 pre jednotku PM 240 sú platné aj pre jednotku PM250. To isté platí aj pre použitie filtračných a výkonových prvkoch a možnostiach preťaženia.

Tabuľka 4: Ochranné funkcie jednotiek PM240 a PM 250 [7]

| | |
|---|---|
| <p>Ochrana proti podpätiu</p> <p>Ochrana pred prepätím</p> <p>Ochrana pri prebudení, preťažení</p> <p>Ochrana pred zemným skratom</p> <p>Ochrana pred skratom</p> | <p>Ochrana proti zvratu</p> <p>Ochrana proti zablokovaniu motoru</p> <p>Ochrana pri nadmernej teplote motoru</p> <p>Ochrana pri nadmernej teplote meniča</p> <p>Ochrana uzamknutím parametrov</p> |
|---|---|



Obrázok 10: Štruktúra jednotky PM250

4.2.2 Riadiaca jednotka CU240S

Je primárne komunikačné a riadiace centrum meniča (menič je riadený riadiacou jednotkou). Zaisťuje hladký beh algoritmu riadenia AM a plní požiadavky obsluhy.

Existujú modifikácie tejto jednotky pre komunikáciu PROFIBAS, PROFINET, RS232 a RS485. Vhodným parametrizovaním tejto jednotky možno prispôbiť menič vlastnostiam konkrétneho pohonu. Jednotka je predurčená na komunikáciu s PC a je umožnené k nej pripojiť aj BOP. Pre riadenie v prípade skúšobného zariadenia bude použitá jednotka CU240S, ktorá umožňuje komunikáciu cez rozhrania RS232 aj RS485. Označenie typu použitého v projekte je 6SL3244-0BA20 - 1BA0.



Obrázok 11: CU240S

Proces riadenia / regulácie jednotky CU240 S

- *U/f lineárne / kvadratické / parametrizovateľné*
- *U/f s reguláciou magnetizačným prúdom (FCC)*
- *Vektorové riadenie, bezsnímačové*
- *Vektorové riadenie so snímačom*
- *Regulácia krútiaceho momentu, bezsnímačová*
- *Regulácia krútiaceho momentu, so snímačom*

Napájanie pre CU240 S

Toto napájanie je možné zabezpečiť z externého napájacieho zdroja, najvýhodnejšie je však využiť priame napájanie z výkonových jednotiek, ktoré v tomto prípade disponujú takýmto napá-
tím.

Tabuľka 5: Technické parametre jednotky CU240S

| napájacie napätie DC | Prúdový odber (maximálny) | Digitálne vstu- py/výstupy | Analógové vstupy/výstupy | Slot pre pamäť. kartu |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| (V) | (A) | 9/3 | 2/2 | ANO |
| 24 | 0,5 | | | |

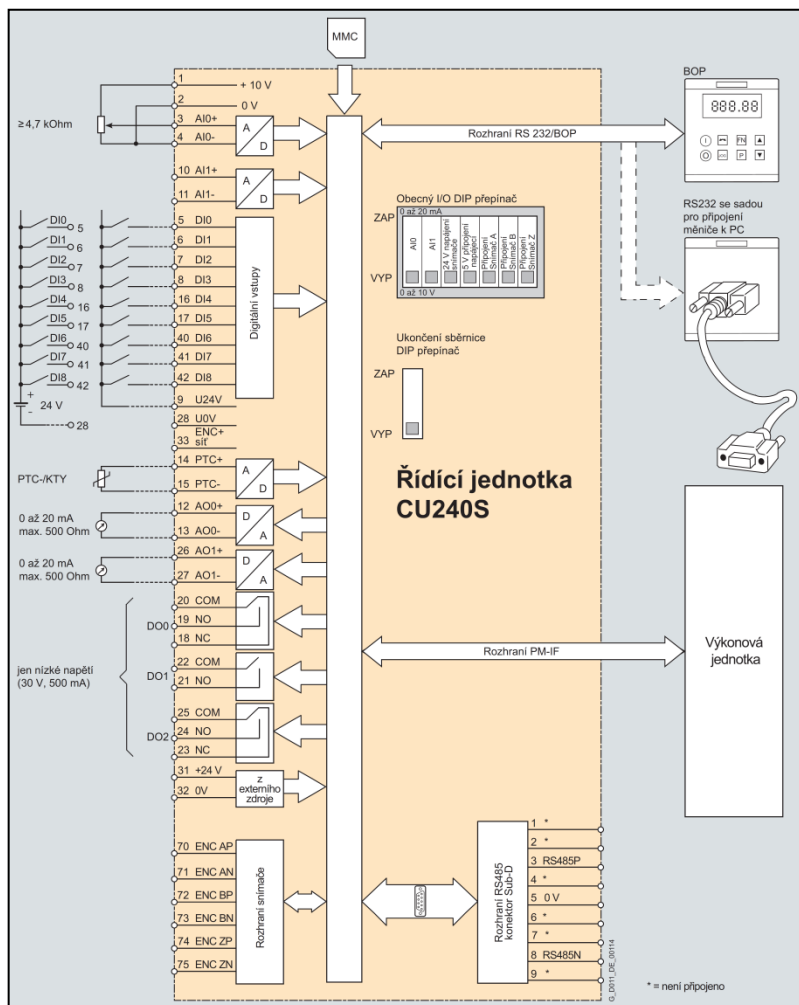
Jednotka ďalej disponuje funkciami:

identifikácia motoru; tepelná ochrana motoru a meniča; zádržná brzda motoru; automatický ná-
beh po výpadku napájania alebo poruchy prevádzky; kompenzácia sklzu; a iné (viď prospekty)

Brzdíacie funkcie:

Podporuje: jednosmerné brzdenie; kompaudné brzdenie; odporové brzdenie

Následující obrázek představuje možnosti zapojení (I/O) popisované jednotky.



Obrázok 12: Vnútroňá štruktúra jednotky CU240S

4.2.3 Basic Operator Panel BOP



Obrázok 13: : Basic Operator Panel

Pomocou BOP je možné uviesť do prevádzky pohon, sledovať spustenú prevádzku ako aj realizovať zmenu niektorých parametrov. Disponuje päťmiestnym displejom na zobrazovanie aktuálnych údajov o riadení, ôsmimi funkčnými a ovládacími tlačidlami. Panel sa nasadzuje priamo na čelo riadiacej jednotky CU240S DP. BOP umožňuje kopírovanie parametrov meniča a ich načítanie do ďalšieho meniča, čo predstavuje významnú časovú úsporu. BOP je radený do skupiny voliteľných systémových komponentov SINAMICS a v žiadnom prípade neposkytuje úplnú náhradu PC za programovanie riadiacej jednotky.

5 SPOŽIADAVKY NA REGULÁCIU

Návrh konštrukcie testovacieho zariadenia je v súčasnej dobe k dispozícii, avšak jeho fyzická konštrukcia nie je v období realizácie tejto práce dostupná. Rovnaká situácia platí aj pre s fyzickú dostupnosť meničov SINAMICS G120 a ostatných komponentov.

Praktické uvedenie AM do prevádzky (plynulý rozbeh na požadované otáčky) bolo v rámci spolupráce uskutočnené v skúšobnom laboratóriu vo firme Siemens Elektromotory.

V rámci spolupráce, bolo prevedené aj čiastočné zaškolenie zamerané na využitie softvérových prostriedkov nevyhnutných na programovanie moderných meničov kmitočtu.

Tieto činnosti boli sprostredkované odborne a technicky spôsobilou kapacitou podniku.

5.1 Spôsob regulácie zariadenia pre výskum kontaktnej únavy

Požiadavky uvedené v tejto kapitole sa vzťahujú predovšetkým na korektné nastavenia softvérových prostriedkov určených na uvedenie pohonných jednotiek do požadovanej funkčnosti.

5.1.1 Počiatočný rozbeh testovacieho stroja (uvedenie do prevádzky)

Pokyny pre softvérové nastavenie riadiacich jednotiek CU240 S

- Stanovené je riadenie otáčok zmenou kmitočtu, *vektorového typu riadenia* s využitím spätnej väzby
- Frekvencia impulzov oboch frekvenčných meničov bude primárne nastavená na 4 kHz (je to štandard). Pri tejto frekvencii a menovitom výkone 37 kW v sieti 3 x 400 V (AC) je menovitý výstupný prúd 75 A (tento údaj platí pre jednotky PM240 a PM250).
Pri nastavení iného pracovného kmitočtu (6, 8, 10, 12, 14, 16 kHz) je potrebné vzhliadnuť dáta deratingu v manuálu príslušných meničov. Tak isto je potrebné zohľadniť rozsahy pracovných teplôt oboch riadiacich jednotiek, uvedených v manuáli jednotiek, pre zvolenú frekvenciu impulzov (rozsah teplôt sa môže meniť v rámci technickej inovácie meničov).
- Je nevyhnutné, aby sa obe pohonné jednotky zariadenia uviedli do činnosti z nulových otáčok.
- Maximálne pracovné otáčky stroja sú stanovené na 500 ot/min.
- Rozbeh na požadované pracovné otáčky musí byť plynulý a presne zosynchronizovaný medzi oboma pohonmi. To znamená že zmeraný moment je rovný nule ($M = 0 \text{ Nm}$).

NASTAVENIE RIADENIA PRE SKÚŠKY S NÚTENÝM PREŠMYKOM

- Riadiacu jednotku CU240S prítomnú na PM250 je nutné naprogramovať tak, aby po dosiahnutí menovitých otáčok bolo umožnené postupné znižovať otáčky AM napájaného z výkonovej jednotky PM250.
- V čase znižovania otáčok na PM250 sa na druhom pohone riadenom prostredníctvom PM240 musia udržiavať otáčky na menovitej hodnote a nesmú sa meniť.
- AM u ktorého sú otáčky znižované, bude v tomto prípade pracovať v generátorickom režime, čo je umožnené vďaka vlastnostiam PM250 (rekuperácia energie do siete).
- Vďaka rozdielnym otáčkam na pohonných jednotkách, nastane pri určitom, vhodne zvolenom pomere otáčok prešmyk, medzi testovanými vzorkami (skúšky s núteným prešmykom).
- Po celý čas je meraný moment a dochádza k spätnej regulácii otáčok (vďaka spätnej väzbe s riadiacou jednotkou).
- Na meniči s možnosťou rekuperácie je nutné nastaviť momentové obmedzenie.
- Pre ukončenie skúšky s núteným prešmykom je nutné postupne znižovať otáčky pohonu s riadiacou jednotkou PM240 až na úroveň, pri ktorej sú otáčky na oboch pohonných jednotkách rovnaké. Následne sa znižujú postupne otáčky na oboch AM až na nulové.

NASTAVENIE RIADENIA PRE SKÚŠKY S VOLNÝM ODVAĽOVANÍM MATERIÁLU

- Pri skúškach s voľným odvaľovaním materiálu je nutné udržiavať počas celej doby skúšania na oboch jednotkách konštantné pracovné otáčky (nesmie nastať prešmyk medzi testovanými vzorkami).
- Pre ukončenie skúšky s voľným odvaľovaním materiálu je nutné plynule znižovať otáčky oboch hnacích jednotiek až na nulové otáčky

VYTVORENIE POTREBNÉHO TLAKU MEDZI TESTOVANÝMI VZORKAMI

Tlak medzi testovanými vzorkami bude vytváraný pomocou hydromotora. V prípade potreby (nutná prítomnosť snímača tlaku) je možné údaje o veľkosti tlaku priviesť na digitálne alebo analógové vstupy riadiacich jednotiek a zahrnúť ich do procesu riadenia.

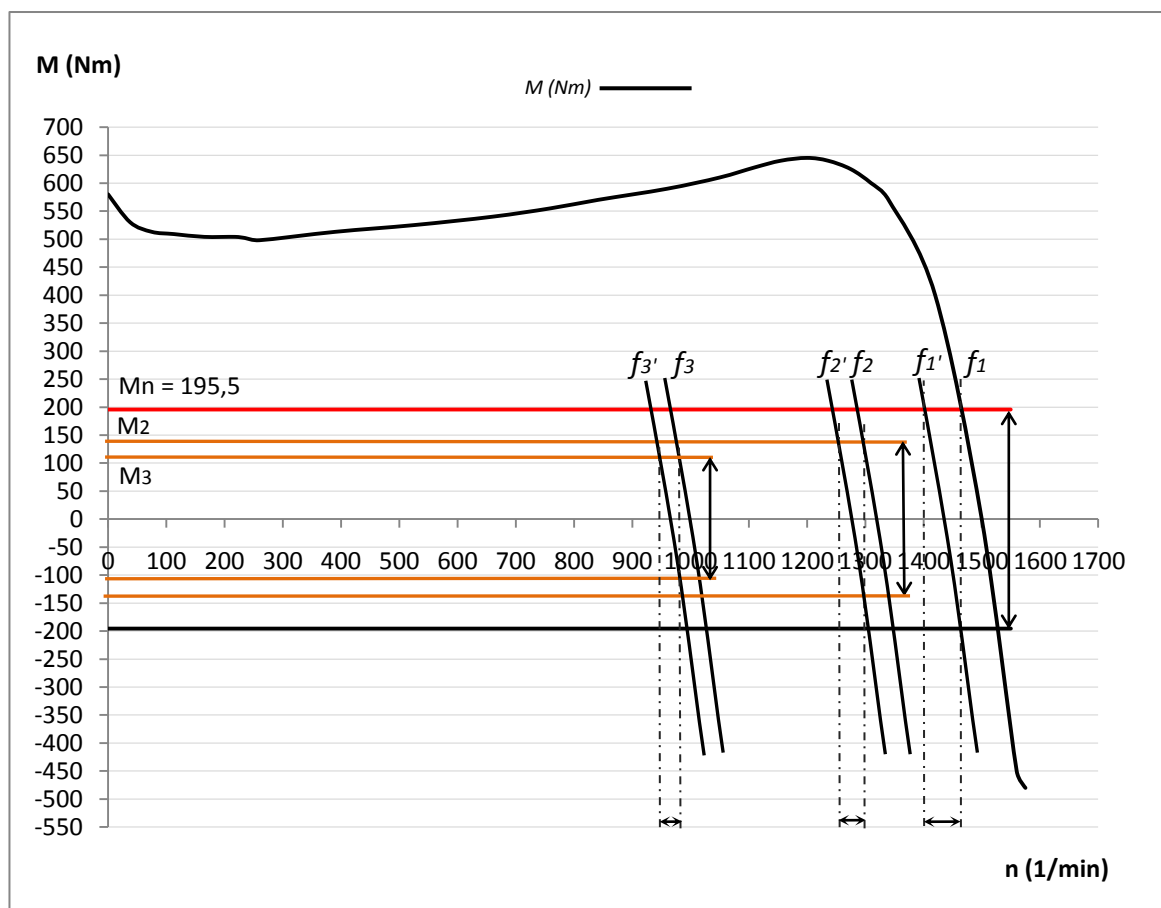
Doplňujúce informácie

Vyššie popísané vlastnosti a správanie testovacieho zariadenia, môžu byť v rámci procesu jeho zhotovovania korigované podľa zistených potrieb a nových faktov.

5.1.2 Rozdiel veľkosti otáčok pre uvažované zaťaženia

Na nasledujúcom obrázku 14 je softvérovo namodelovaná momentová charakteristika zvoleného štvorpólového asynchrónneho motoru pri pracovnej frekvencii 50 Hz. Je na nej vyznačený menovitý moment ($M_n = 195,5 \text{ Nm}$).

Na charakteristike sú vyznačené ďalšie dva uvažované momenty a časti momentových charakteristík pre iné pracovné frekvencie než je 50 Hz.



Obrázok 14: Momentové charakteristiky AM a uvažované zaťaženia

Ďalšie dva uvažované momenty sú $M_2 = 142 \text{ Nm}$ a $M_3 = 108 \text{ Nm}$. Z grafu je zrejmé, že čím menší je uvažovaný moment, tým je potrebný menší rozdiel medzi otáčkami oboch pohonných jednotiek.

- Pre menovitý moment M_n platí: kmitočet f_1 odpovedá frekvencii 50 Hz, kmitočet $f_1' = 46,5 \text{ Hz}$
- Pre moment M_2 je dané: $f_2 = 43 \text{ Hz}$; $f_2' = 41,6 \text{ Hz}$
- Uvažovaný moment M_3 : $f_3 = 32,6 \text{ Hz}$; $f_3' = 31,6 \text{ Hz}$

Odpovedajúce otáčky pre určenie veľkosti jednotlivých kmitočtov sú demonštračne získané z grafického vyjadrenia (Obrázok 14).

5.2 Meranie otepľovacích skúšok

Pri premene elektromagnetickej energie v asynchrónnych motoroch dochádza k premene elektrickej alebo mechanickej energie na teplo. Teplo vznikajúce pri práci AM zahrieva jednotlivé časti elektrického stroja, čím sa zvyšuje ich teplota. Nadmerné zvyšovanie teploty často vyvoláva v AM zníženie elektrickej a mechanickej pevnosti izolácie vinutia. Dovoľená teplota je určená triedou izolácie.[8]

V rámci požiadaviek na reguláciu a praktického overenia navrhnutých pohonov (a iných technických prostriedkov, napr. chladiacich ventilátorov), bolo zrealizované praktické meranie otepľovacích charakteristík v spolupráci s firmou Siemens Elektromotory s.r.o. - závod Frenštát pod Radhoštěm. Merania boli uskutočnené v rámci technických možností, ktoré firma poskytla k dispozícii. Firma sprístupnila časť skúšobnej dielne s potrebným vybavením a pracovné kapacity s potrebnými znalosťami.

Jednotlivé merania, ktoré boli uskutočnené v rámci spolupráce, ich výsledky a zhodnotenia, sú k dispozícii v nasledujúcich podkapitolách.

5.2.1 Testované otáčky

Zo znalostí získaných z použitej literatúry súvisiacej s riešením práce a teoretických úvah, bolo rozhodnuté, že otepľovacie skúšky sa budú realizovať pre nasledujúce otáčky uvedené v tabuľke 6. Hlavné pracovné otáčky skúšobného zariadenia sa budú pohybovať maximálne do 500 *ot/min*.

Tabuľka 6: Technické parametre jednotky CU240S

| Názov | <i>n</i> [1/min] | napájanie AM |
|--------------|-------------------------|--------------------------------|
| A | 1465 | bez frekvenčného meniča (sieť) |
| B | 1465 | frekvenčný menič |
| C | 500 | frekvenčný menič |

5.2.2 Parametre technických prostriedkov využitých pri skúške

K dispozícii bol kompletný modulárny systém SINAMICS G120.

Výkonová jednotka

PM240 pre motory do 30 kW (*kat. č. 6SL3224 – 0BE33 - 0AA0*), ide o autentický typ, aký bude použitý aj v projekte skúšobného zariadenia.

Riadiaca jednotka

CU240S DP (*kat. č. 6SL3244 – 0BA20 – 1PA0*) – prepojená s PC linkou RS232. Jednotka bola naprogramovaná pre potreby merania prostredníctvom PC a softwarového vybavenia SIEMENS STARTER.

Trojfázový asynchrónny motor

Typ: SIEMENS 1LG6 186-4MA60

Tabuľka 7: Parametre meraného motoru

| <i>U</i> <i>(V)</i> | <i>I</i> <i>(A)</i> | <i>f</i> <i>(Hz)</i> | <i>P</i> <i>(kW)</i> | <i>cosφ</i> <i>(-)</i> | <i>n</i> <i>(1/min)</i> | <i>m</i> <i>(kg)</i> |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| 400 | 41,5 | 50 | 22 | 0,84 | 1465 | 185 |

- *U; I; f* – napätie; prúd a kmitočet AM
- *P; cosφ* – výkon a účinník AM
- *n* – otáčky AM

Je nutné podotknúť, že v rámci voľby asynchrónneho motora bol pre skúšku zvolený štvorpólový AM, ale s menším výkonom oproti vyššie navrhnutému elektromotoru. Možnosti boli limitované prostriedkami podniku. Motor bol zaťažovaný asynchrónnym generátorom.

Trojfázový asynchrónny generátor

Typ: ADS 220K – 4 ; VUES BRNO ; týmto generátorom bol AM zaťažovaný.

Tabuľka 8

| <i>U</i> <i>[V]</i> | <i>I</i> <i>[A]</i> | <i>f</i> <i>[Hz]</i> | <i>P</i> <i>[kW]</i> | <i>cosφ</i> | <i>n</i> <i>[1/min]</i> | <i>m</i> <i>[kg]</i> |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--|---------------------------------------|
| 380 | 375 | 74- 148/198 | 220/150 | 0,86 | 2250- 4500/6000 | 1250 |

- *U; I* – napätie; prúd generátoru
- *f* – frekvencia
- *P; cosφ* – výkon; účinník generátoru
- *n* – otáčky generátoru

Diagnostický pult

Neprenosné zariadenie, špeciálne vyvinuté pre firmu Siemens. Slúži na automatické spracovanie a ukladanie dát z meraného motoru. Spracovávané sú dáta snímané teplotnými čidlami a zaznamenáva sa i moment AM. Pult obsahuje priemyselné PC, ako aj diagnostické prístroje Siemens. Prostredníctvom pultu bola umožnená ručná regulácia vstupného napätia meniča. Pretože počas prevádzky v závode dochádza k výkyvom napätia v sieti, bolo potrebné ho doregulovať priebežne manuálne.

Pult slúžil zároveň ako hlavný napájací prvok meniča a realizovalo sa tak jeho prostredníctvom riadené pripojenie a riadené odpojenie prívodu energie k meniču.

5.2.3 Nastavenie parametrov softvérových prostriedkov využitých pri skúške

Softvér STARTER

Pomocou softvérového nástroja STARTER sa zaisťuje uvedie meniča do pracovného stavu, optimalizácia a diagnostika riadenia ako aj diagnostika meniča. Nástroj je implementovaný v PC a dáta sa prenášajú medzi riadiacou jednotkou meniča a PC pomocou sériovej linky. Diagnostické nástroje informujú o stave parametrov, pracovných podmienkach a komunikačných stavoch.

Významná funkcia je *Automatická optimalizácia meniča* prostredníctvom analýzy riadeného pohonu. Týmto sa menič automaticky parametrizuje na základe analýzy konkrétneho AM, čo výrazne šetrí čas potrebný na ručnú optimalizáciu. Pri meraní bol použitý softvér STARTER verzia 4.1 SP3.

Softvér diagnostického pultu

Poskytuje základné nastavenia týkajúce sa ukladania spracovaných údajov a ich zobrazovanie pre ďalšie využitie v praxi. Nastaví sa časové obdobie ukladania dát a úložisko dát.

Postup nastavenia jednotky CU240S DP pre uvedenie pohonu do chodu

Nižšie uvedené parametre sú považované za nastavenia odborné a vyžadujú si vyššie technické znalosti meničov Siemens. Nastavujú sa v položke CONFIG –WIZARD a COMMISSIONIG – CONTROL PANEL

Postup:

- *v prvom kroku sa uskutoční automatická parametrizácia meniča – STARTER spočíta náhradnú schému motora pre vektorové riadenie*
- *parametre, ktoré je nutné zadať ručne sa nastavujú v off – line režime, RS232 je odpojené od PC, je to z dôvodu ochrany pred automatickým prepisom zvolených dát*

- *dodatočne sa nastaví druh riadenia – v našom prípade vektorové riadenie bez spätnej väzby*
- *v parametri č. 1800 sa pre tento druh skúšky nastaví pracovný spínací kmitočet meniča – 4 kHz*
- *nastaví sa parameter teploty – zadá sa teplota okolia*
- *posledný krok je nastavenie prítomnosti čidla otáčok – v našom prípade je neprítomné*

Po vykonaní nastavení je nutné pripojiť k PC linku RS232 a nakonfigurované parametre nahráť do pamäti riadiacej jednotky. Nahrávanie je možné do pamäti RAM (rýchlejšia varianta, avšak pri výpadku el. energie dochádza k strate nahraných dát). Z hľadiska bezpečného uloženia dát je výhodné nahráť dáta do ROM pamäte. V našom prípade sme zvolili ukladanie do oboch typov pamätí riadiacej jednotky.

STARTER umožňuje aj bezobslužné nastavenie riadenia – to je určené len pre základné roztočenie pohonnej jednotky, čo bolo pre náš prípad nepostačujúce.

5.3 Otepľovacie skúšky – A

Meranie prebiehalo pri priamom pripojení AM k sieti a menič kmitočtu nebol využitý ako medzičlánok medzi sieťou a AM. Pracovné otáčky AM boli cca 1465 *ot/min*. Výsledky merania otepľovacej skúšky sú spracované a využité pri porovnaní s výsledkami pri zapojení motora cez menič frekvencie pri rovnakých otáčkach.

Výsledky skúšky približia nutnosť použitia prípadného externého chladiaceho systému pre chladenie AM.

V nasledujúcej tabuľke 9 sú uvedené významy teplôt zaznamenávaných pri skúške. Teplota zaznamenaná z teplotného čidla označeného číslom 1 je T_1 . Ostatné značenie teplôt je ekvivalentné tomuto prípadu.

Tabuľka 9: Značenie a význam teplôt

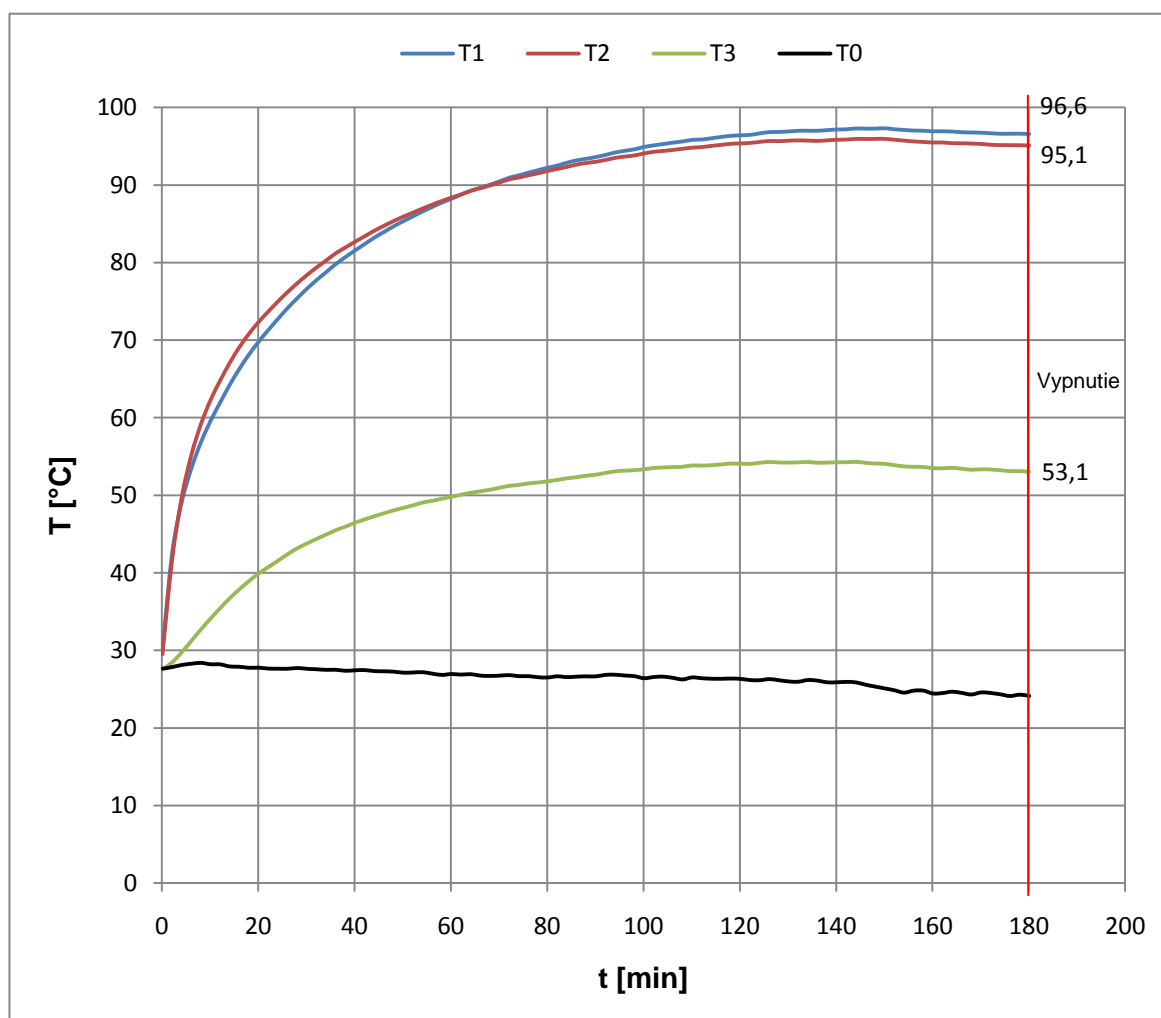
| <i>Teplota</i> | <i>Význam</i> |
|----------------|---|
| T_0 (Č0) | <i>Teplota okolia</i> |
| T_1 (Č1) | <i>Teplota vinutia statora</i> |
| T_2 (Č2) | <i>Teplota vinutia statoru – na strane ventilátoru AM</i> |
| T_3 (Č3) | <i>Teplota kostry AM</i> |

- kmitočet siete: $f = 50 \text{ Hz}$
- otáčky AM: $n = 1465 \text{ 1/min}$
- moment na hriadelí: $M = 142,9 \text{ Nm}$

Tabuľka 10 predstavuje zaznamenané otáčky a teploty v časových úsekoch cca 30 minút.

Tabuľka 10: Zaznamenané otáčky a teploty - skúška A

| Čas | n | T_0 | T_1 | T_2 | T_3 |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|
| [-] | [1/min] | [°C] | [°C] | [°C] | [°C] |
| 18:00:12 | 1475,3 | 28,0 | 45,2 | 44,9 | 28,9 |
| 18:27:30 | 1471,2 | 27,6 | 76,6 | 78,4 | 43,8 |
| 18:57:30 | 1468,8 | 27,0 | 88,2 | 88,4 | 49,8 |
| 19:27:31 | 1467,8 | 26,7 | 93,6 | 93,0 | 52,6 |
| 19:57:31 | 1467,1 | 26,3 | 96,4 | 95,4 | 54,1 |
| 20:27:31 | 1466,9 | 25,1 | 97,3 | 96,0 | 54,0 |



Obrázok 15: Teplotné krivky – skúška A

5.4 Otepľovacie skúšky – B

Skúška prebiehala tak, že menič Sinamics generoval napätie s frekvenciou 50 Hz a AM bol napájaný týmto napätím. Význam jednotlivých teplôt je objasnený v tabuľke 9. Zaznamenané hodnoty sú nasledovné:

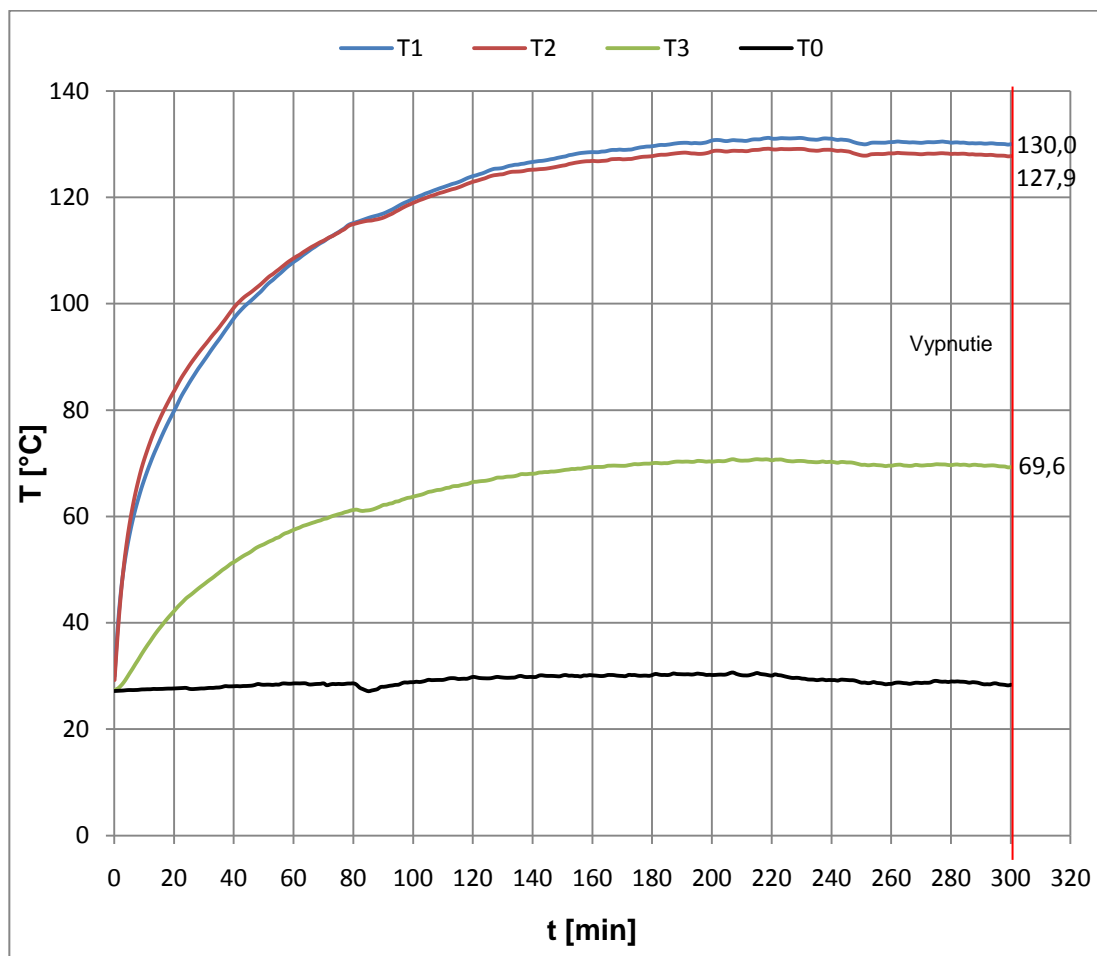
- kmitočet generujúci menič: $f = 50 \text{ Hz}$
- otáčky AM: $n = 1465 \text{ 1/min}$
- moment na hriadeli: $M = 143,4 \text{ Nm}$

Tabuľka 11: Zaznamenané hodnoty - skúška B

| Čas | n | T_0 | T_1 | T_2 | T_3 |
|----------|---------|-------|-------|-------|-------|
| [s] | [1/min] | [°C] | [°C] | [°C] | [°C] |
| 11:15:25 | 1464,6 | 27,5 | 74,4 | 78,4 | 39,1 |
| 11:30:13 | 1464,6 | 27,6 | 89,4 | 92,1 | 47,3 |
| 12:00:13 | 1464,9 | 28,6 | 107,9 | 108,6 | 57,5 |
| 12:30:13 | 1464,7 | 27,9 | 117,0 | 116,2 | 62,2 |
| 13:00:13 | 1464,6 | 29,8 | 124,0 | 123,0 | 66,5 |
| 13:30:13 | 1465,0 | 30,1 | 127,6 | 126,0 | 68,7 |
| 14:00:13 | 1464,8 | 30,2 | 129,6 | 127,8 | 70,0 |
| 14:30:14 | 1464,5 | 30,1 | 130,7 | 128,8 | 70,5 |
| 15:00:14 | 1464,6 | 29,2 | 131,0 | 129,0 | 70,3 |
| 15:30:14 | 1464,9 | 28,6 | 130,2 | 128,1 | 69,6 |
| 16:00:14 | 1464,5 | 28,3 | 130,0 | 127,8 | 69,3 |

Pri porovnaní tabuľky zaznamenaných teplôt pri skúške A a skúške B je zrejmé, že k ustáleniu teplôt vinutia došlo pri B za výrazne dlhšiu dobu a na vyšších hodnotách, stále sa však pohybuje v dovolených medziach teplôt stanovených pre teplotnú triedu F izolácie vinutia.

Pri porovnaní grafov teplotných kriviek skúšky A a skúšky B je postrehnuteľné, že pri skúške B je rast teploty vinutia rýchlejší pre rovnaký čas ako pri predchádzajúcej skúške A.



Obrázok 16: Teplotné krivky – skúška B

Hodnoty svorkových odporov AM namerané za studena:

$$R_U = 0,2727 \, \Omega$$

$$R_V = 0,2728 \, \Omega$$

$$R_W = 0,2728 \, \Omega$$

Hodnoty svorkových odporov AM po 30 s od ukončenia merania a odpojenia AM od napájania:

$$R_U = 0,3704 \, \Omega$$

$$R_V = 0,3704 \, \Omega$$

$$R_W = 0,3710 \, \Omega$$

Použité meradlo pri meraniach: mikro-ohm meter – OM21

5.5 Otepľovacie skúšky – C

Skúška bola realizovaná pri 500 otáčkach za minútu. Práve pri týchto otáčkach budú realizované aj testy šmykovej únavy na skúšobnom stroji. Význam teplôt je vysvetlený v tabuľke 9.

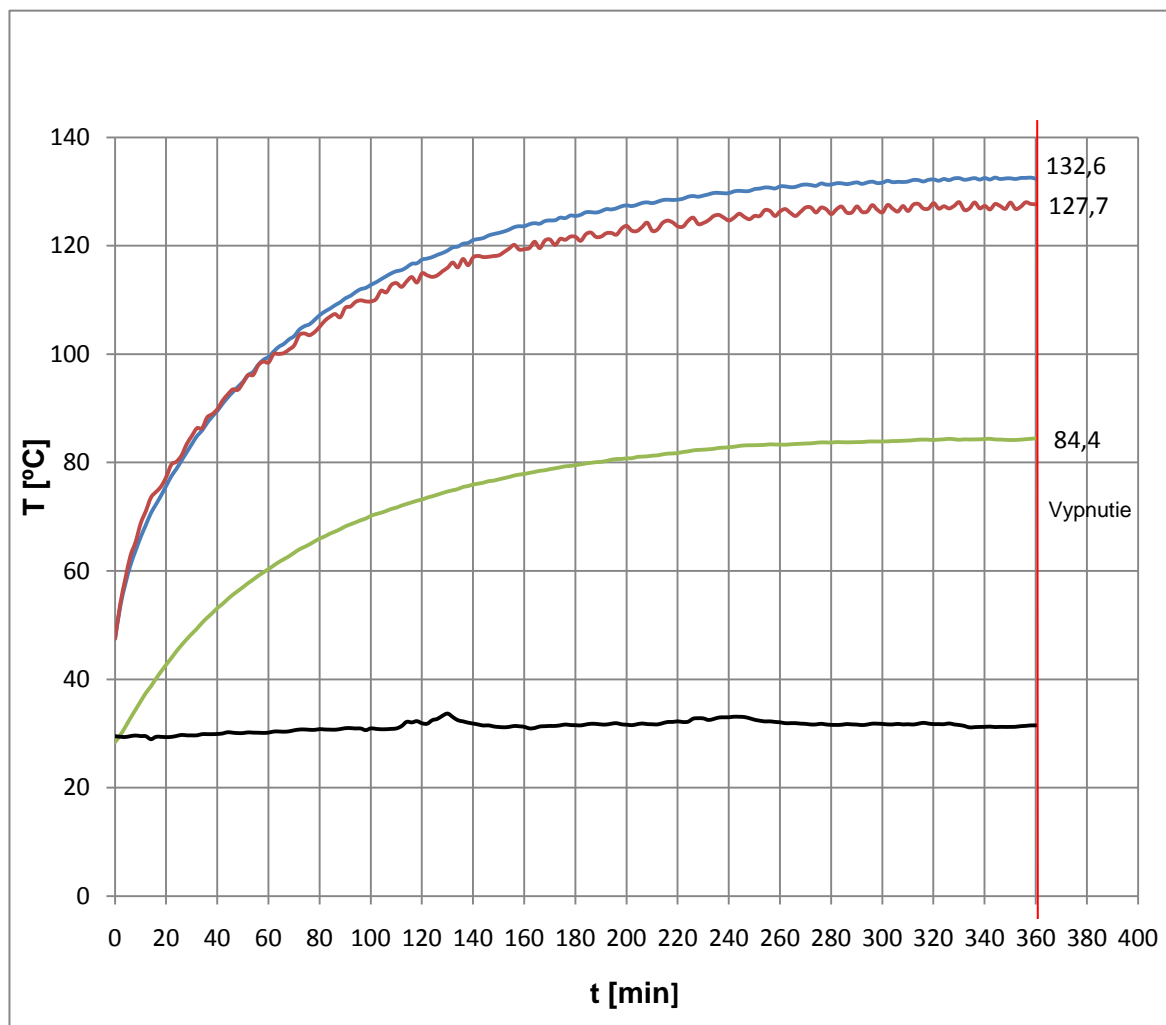
Hodnoty v tabuľke 12 boli zaznamenávané počas šiestich hodín, to v praxi znamená dobu, kedy sa merané teploty ustálili.

Tabuľka 12: Zaznamenané hodnoty – skúška C

| Čas | <i>n</i> | <i>T0</i> | <i>T1</i> | <i>T2</i> | <i>T3</i> |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| [–] | [1/min] | [°C] | [°C] | [°C] | [°C] |
| 7:44:23 | 500,2 | 29,5 | 47,5 | 47,5 | 29,4 |
| 8:14:23 | 502,4 | 29,7 | 83,4 | 84,9 | 48,4 |
| 8:44:23 | 503,2 | 30,2 | 99,5 | 98,3 | 60,4 |
| 9:14:23 | 500,1 | 31,0 | 110,2 | 108,2 | 68,2 |
| 9:44:23 | 499,7 | 31,9 | 117,4 | 114,9 | 73,2 |
| 10:14:23 | 499,3 | 31,2 | 122,5 | 118,2 | 77,0 |
| 10:44:24 | 498,9 | 31,5 | 125,4 | 121,0 | 79,5 |
| 11:14:24 | 498,5 | 31,7 | 127,8 | 122,7 | 81,3 |
| 11:44:24 | 498,3 | 33,0 | 129,9 | 124,8 | 82,9 |
| 12:14:24 | 498,1 | 31,8 | 131,1 | 126,7 | 83,5 |
| 12:44:24 | 498,0 | 31,8 | 131,9 | 127,1 | 83,9 |
| 13:14:24 | 497,9 | 31,6 | 132,2 | 127,1 | 84,2 |
| 13:44:24 | 497,8 | 31,5 | 132,4 | 126,8 | 84,5 |
| 13:44:32 | 497,9 | 31,5 | 132,6 | 127,8 | 84,5 |

Porovnaním doby ustálenia teplôt na stabilnej hodnote vo všetkých meraniach je zrejmé, že teplota sa ustálila pri skúške C za najdlhšiu dobu.

Aj v tomto prípade je nárast teploty v prvých 50 minútach merania pomerne rýchly a pri tomto meraní sa teploty vinutia ustálili na najvyšších hodnotách (132,6 °C a 127,7 °C).



Obrázok 17: Teplotné krivky – skúška C

Hodnoty svorkových odporov AM namerané za studena:

$$R_U = 0,2727 \, \Omega$$

$$R_V = 0,2728 \, \Omega$$

$$R_W = 0,2728 \, \Omega$$

Hodnoty svorkových odporov AM po 30 s od ukončenia merania a odpojenia AM od napájania:

$$R_U = 0,3736 \, \Omega$$

$$R_V = 0,3737 \, \Omega$$

$$R_W = 0,3741 \, \Omega$$

Použité meradlo pri meraniach: mikro-ohm meter – OM21

5.6 Analýza oteplenia vinutia

Uvedené obrázky v tejto kapitole spolu s príslušnými výpočtami znázorňujú oteplenie vinutia AM pre jednotlivé typy skúšok (A, B, C). Znázornenia sú pri každej skúške realizované pre teplotu vinutia na strene AM bez ventilátoru (teploty dosahovali vyššie maximá).

Rovnica oteplenia pre nulové $\Delta\vartheta_0$:[8]

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

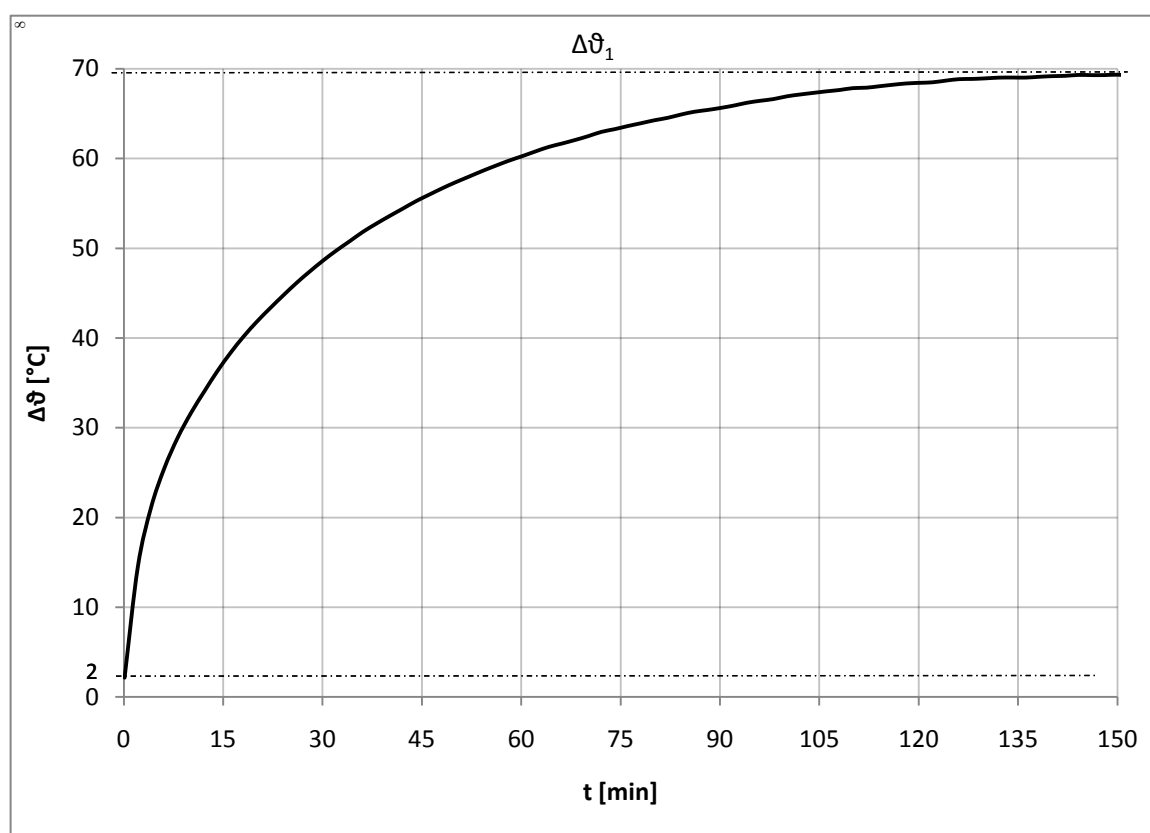
Rovnica oteplenia pre nenulové $\Delta\vartheta_0$:[8]

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_0 + (\Delta\vartheta_{\infty} - \Delta\vartheta_0) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

- $\Delta\vartheta_0$ - počiatočné oteplenie telesa; $\Delta\vartheta_{\infty}$ - maximálne oteplenie telesa

Tieto rovnice platia pre homogénne telesá a preto otepľovacie krivky motoru tieto rovnice nesledujú.

5.6.1 Analýza oteplenia – skúška A



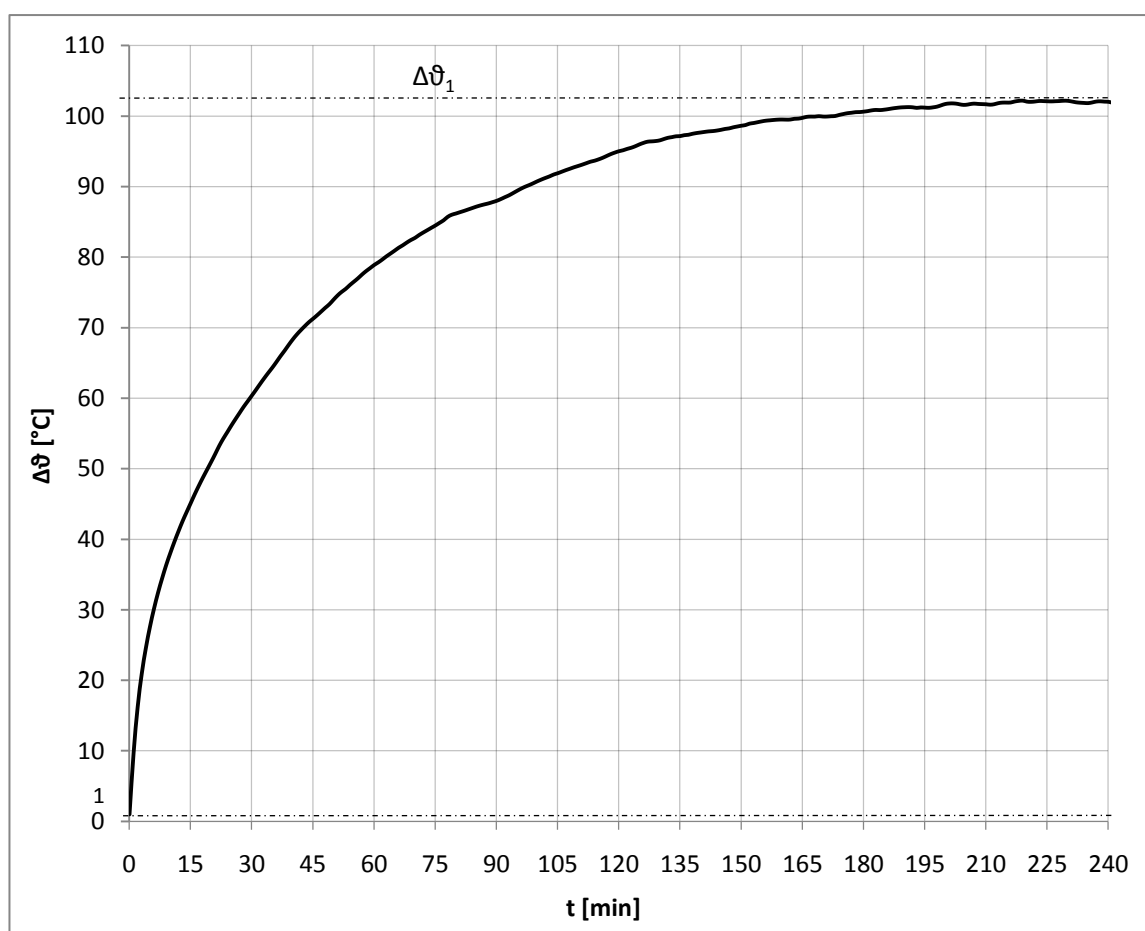
Obrázok 18: Graf oteplenia pre skúšku A

Graf je zostavený z reálne nameraných hodnôt.

Zistené hodnoty z analýzy oteplenia pre skúšku A sú nasledovné:

- teplota okolia: $\vartheta_{okol} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$
- počiatočná teplota merania: $\vartheta_{poč} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- počiatočné oteplenie: $\Delta\vartheta_0 = \vartheta_{poč} - \vartheta_{okol} = 30 - 28 = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximálne oteplenie z grafu: $\Delta\vartheta_1 = 68,6\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.6.2 Analýza oteplenia – skúška B



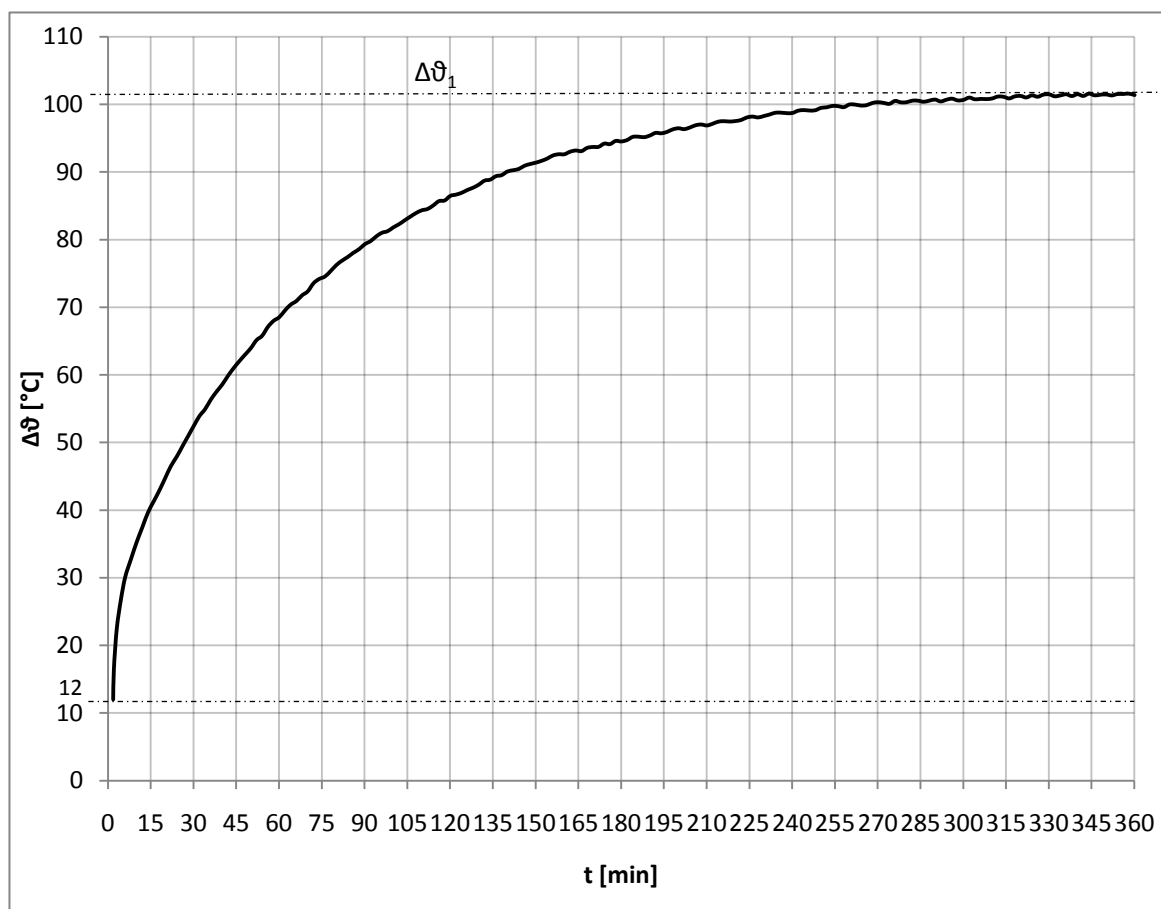
Obrázok 19: Graf oteplenia pre skúšku B

Graf je zostavený z reálne nameraných hodnôt.

Zistené hodnoty z analýzy oteplenia pre skúšku B sú nasledovné:

- teplota okolia: $\vartheta_{okol} = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$
- počiatočná teplota merania: $\vartheta_{poč} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- počiatočné oteplenie: $\Delta\vartheta_0 = \vartheta_{poč} - \vartheta_{okol} = 30 - 29 = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximálne oteplenie z grafu: $\Delta\vartheta_1 = 102\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.6.3 Analýza oteplenia – skúška C



Obrázok 20: Graf oteplenia pre skúšku C

Graf je zostavený z reálne nameraných hodnôt.

Zistené hodnoty z analýzy oteplenia pre skúšku C sú nasledovné:

- teplota okolia: $\vartheta_{okol} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$
- počiatočná teplota merania: $\vartheta_{poč} = 43\text{ }^{\circ}\text{C}$
- počiatočné oteplenie: $\Delta\vartheta_0 = \vartheta_{poč} - \vartheta_{okol} = 43 - 31 = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$

- maximálne oteplenie z grafu: $\Delta\vartheta_1 = 101,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Z analýzy získaných hodnôt je zrejmé, že maximálne oteplenie $\Delta\vartheta_1$ dosahuje najväčšiu hodnotu pri tejto skúške.

5.7 Zhodnotenie výsledkov otepľovacích skúšok

Pri otepľovacej skúške A bez použitia meniča kmitočtu sa teploty vinutia a kostry ustálili po cca 160 minútach od spustenia merania. Teploty vinutí T_1 a T_2 dosahovali po ustálení $96,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $95,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maximálna krátkodobá hodnota teplôt sa pohybovala u T_1 na úrovni $97,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a u T_2 na úrovni $95,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ďalšia skúška (B) vykazovala v porovnaní s predchádzajúcou skúškou rozdielne hodnoty. V oboch variantách boli približne rovnaké otáčky AM a rovnaký moment. Teploty pri tejto skúške sa ustálili po 300 minútach od spustenia skúšky. Teplota T_1 sa ustálila na hodnote $130,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a T_2 na $127,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maximálna krátkodobá hodnota teplôt T_1 a T_2 bola $131,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $129,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Z výsledkov je zrejmé, že doba ustálenia teplôt je dlhšia u pripojenia AM cez menič a takisto sa ukázalo, že teploty dosahovali vyššie hodnoty pri skúške s použitým meničom.

Posledné meranie (C) prebiehajúce pri 500 ot/min prinieslo nasledujúce výsledky. Teploty T_1 a T_2 sa ustálili po cca 350 minútach na týchto hodnotách: $T_1 = 132,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $T_2 = 127,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Údaje hovoria o tom, že pri zapojení AM cez menič je v oboch prípadoch vyššia teplota vinutia. Rovnaké tendencie mala teplota aj na kostre AM (viď obrázky u príslušných skúšok).

Meraný AM má izolačnú triedu F ($155\text{ }^{\circ}\text{C}$). Rovnakú izolačnú triedu má aj navrhnutý AM pre testovacie zariadenie. Z predchádzajúcich výsledkov vyplýva, že ani pri jednej zo skúšok oteplenia nebola prekročená teplota izolačnej triedy F. To v konečnom dôsledku znamená, že nie je nutné používať externý chladiaci systém pre chladenie AM. Pred vykonaním otepľovacích skúšok bol tento systém v návrhu nutne uvažovaný.

Je nutné podotknúť, že grafy teplotných kriviek boli zostavené z veľkého množstva zaznamenaných hodnôt – údaje o teplote sa zaznamenávali po jednej sekunde (resp. po dvoch sekundách) počas celého intervalu merania. V tabuľkách s uvedenými teplotami sú zapísané významné body slúžiace pre všeobecný prehľad. Kompletný prehľad údajov je k dispozícii v elektronickej podobe v prílohách súvisiacich s touto prácou.

6 TECHNICKÝ POPIS ŘEŠENIA

V kapitole je zhotovená technická správa, týkající sa návrhu skúšobného zariadenia

6.1 Technická správa

Dátum: 8.4.2010

Spracovateľ: Peter Staš

Objekt: budova HARD, laboratórium pre výskum kontaktnej únavy strojnej fakulty

OBSAH

| | | |
|--------|--|----|
| 6.1.1 | <i>Všeobecný popis zariadenia</i> | 34 |
| 6.1.2 | <i>Platnosť projektu</i> | 35 |
| 6.1.3 | <i>Vonkajšie vplyvy určené podľa platných noriem</i> | 35 |
| 6.1.4 | <i>Predpisy a normy</i> | 36 |
| 6.1.5 | <i>Bezpečnostné predpisy</i> | 36 |
| 6.1.6 | <i>Napáťové sústavy</i> | 36 |
| 6.1.7 | <i>Inštalovaný výkon</i> | 37 |
| 6.1.8 | <i>Dispozičné riešenie</i> | 37 |
| 6.1.9 | <i>Funkčné riešenie</i> | 39 |
| 6.1.10 | <i>Istiacie a ochranné prvky</i> | 41 |
| 6.1.11 | <i>Ochrana pred spätnými vplyvmi (rušením) na sieť</i> | 41 |
| 6.1.12 | <i>Ochrana pred úrazom elektrickým prúdom</i> | 41 |

6.1.1 Všeobecný popis zariadenia

Elektrotechnické zariadenie umiestnené v budove HARD v laboratóriu pre výskum kontaktnej únavy má slúžiť na testovanie šmykovej únavy ocelových materiálov. Na stroji budú vykonávané skúšky s voľným odvaľovaním materiálov a častejšie skúšky s núteným prešmykom testovaných vzoriek.

Samotný stroj sa vo všeobecnosti bude skladať zo systému ľavého a pravého pohonu. Tieto dva nezávislé systémy budú poháňané asynchrónnymi elektromotormi, každý o výkone 30 kW. Súčasťou oboch pohonov je aj sústava pružných spojok, ložiskových domčekov a mechanizmov pre upnutie testovaných materiálov.

Skúšané vzorky s kruhovým priemerom sa budú upevňovať zvlášť pre každý pohon a tlak medzi nimi bude vytvorený pomocou hydromotora, ktorého sila bude pôsobiť iba na systém pravého pohonu.

V miestnosti budú umiestnené aj zariadenia nutné na prevádzku stroja. Jedným z nich je systém nízkonapäťových rozvádzačov slúžiacich pre napájanie súčastí stroja. Dôležitým prvkom, nevyhnutným pre riadenie otáčok AM je aj sústava výkonových frekvenčných meničov, tieto budú umiestnené v rozvádzačoch pohonu. Ďalším dôležitým mechanizmom nachádzajúcim sa v miestnosti bude hydraulické zariadenie na ovládanie hydromotora.

6.1.2 Platnosť projektu

Doba platnosti projektu je jeden kalendárny rok, plynúca odo dňa uvedenia projektu do platnosti. Po uplynutí tohto obdobia je nutné vykonať revíziu projektu pred zahájením montáže.

6.1.3 Vonkajšie vplyvy určené podľa platných noriem

Definícia vonkajších vplyvov a prostredia z hľadiska nebezpečenstva úrazu elektrickým prúdom podľa platnej normy ČSN 33 2000-3 (kap. 32).

Z hľadiska nebezpečenstva úrazu elektrickým prúdom, ktorý môže nastať pri prevádzke, sa jedná o priestor *normálny*.

Tabuľka 13: Stanovenie vonkajších vplyvov podľa normy ČSN 33 2000-3 [11]

| 321 | PROSTREDIE s povahou | | |
|--------|---|----|----------------|
| 321.1 | Teplota okolia | AA | AA5 |
| 321.2 | Atmosférické podmienky v okolí | AB | AB5 |
| 321.3 | Nadmorská výška | AC | AC1 |
| 321.4 | Výskyt vody | AD | AD1 |
| 321.5 | Výskyt cudzích pevných telies | AE | AE1 |
| 321.6 | Výskyt korozívnych alebo znečisťujúcich látok | AF | AF1 |
| 321.7 | 321.7.1 Ráz | AG | AG1 |
| | 321.7.2 Vibrácie | AH | AH1 |
| 321.8 | Výskyt rastlínstva alebo plesni | AK | AK1 |
| 321.9 | Výskyt živočíchov | AL | AL1 |
| 321.10 | Elektromagnetická, elektrostatická alebo ionizujúce pôsobenia | AM | AM1 |
| 321.11 | Slnečné žiarenie | AN | AN1 |
| 321.12 | Seizmické účinky | AP | AP1 |
| 321.13 | Búrková činnosť | AQ | AQ1 |
| 321.14 | Pohyb vzduchu | AR | AR1 |
| 321.15 | Vietor | AS | Nevyskytuje sa |

Pokračovanie tabuľky 10

| | | | |
|------------|---|----|-----|
| 322 | VYUŽITIE s povahou | | |
| 322.1 | Schopnosť osôb | BA | BA4 |
| 322.3 | Kontakt osôb s potenciálom zeme | BC | BC2 |
| 322.4 | Podmienky úniku v prípade nebezpečenstva | BD | BD1 |
| 322.5 | Povaha zapracovávaných alebo skladových látok | BE | BE1 |
| 323 | KONŠTRUKCIA BUDOVY s povahou | | |
| 323.1 | Stavební materiály | CA | CA1 |
| 323.2 | Prevedenie budovy | CB | CB1 |

Doplňujúce informácie:

- Z určenia vonkajších vplyvov je zrejmé, že nie sú stanovené žiadne zvláštne vplyvy, ktoré by si vyžadovali použitie ďalších špecifických noriem a predpisov pre danú miestnosť v ktorej bude umiestnené testovacie zariadenie.
- Upratovanie miestnosti bude realizovaná podľa potreby osobou zoznámenou (§3 podľa Vyhl. 50/1978 Zb.) bez oprávnenia manipulácie a obsluhy elektrických zariadení.
- Pri rozsiahlej prestavbe miestnosti je potrebné vonkajšie vplyvy znova prehodnotiť

6.1.4 Predpisy a normy

Špecifickou normou použitou v projekte je ČSN EN 60034-25 a normy ČSN 33 2000.

Konečné projektové riešenie elektrickej časti odpovedá platným predpisovým a zriaďovacím normám ČSN.

6.1.5 Bezpečnostné predpisy

Platné bezpečnostné predpisy sú predovšetkým v súlade s normami ČSN 33 2000 a to hlavne s ČSN 332000 – 4 – 41 (ochrana pred úrazom elektrickým prúdom)

6.1.6 Napät'ové sústavy

Napät'ové sústavy vyskytujúce sa v miestnosti:

SILOVÝ ROZVOD

- sústava $3 \times 400 / 230 \text{ V}$; typ siete TN-C: pre napájanie hlavného rozvádzača
- sústava $3 \times 400 / 230 \text{ V}$; typ siete TN-C: prívod elektrickej energie z hlavného rozvádzača do sústavy pracovných rozvádzačov určených pre napájanie skúšobného stroja

- sústava: $3 \times 400/230\text{ V}$; typ siete TN-C-S: rozvod elektrickej energie zo sústavy pracovných rozvádzačov (rozvádzačov pohonu, určené pre napájanie frekvenčných meničov a hydraulického čerpadla).

OVLÁDACÍ ROZVOD

- sústava malého jednosmerného napätia 24 V (určené pre napájanie ovládacích obvodov stýkačov)

6.1.7 Inštalovaný výkon

Inštalovaný výkon pozostáva z výkonov asynchrónnych motorov použitých v pohonných systémoch (ľavého a pravého) testovacieho zariadenia.

$2 \times \text{AM}$: Siemens 200, typ 1LG4 207:

- Menovitý výkon: 30 kW
- Menovitý prúd pri 400 V : 56 A

Inštalovaný výkon asynchrónnych motorov:

$$P_i = 2 \times 30 \cdot 10^3 = \underline{\underline{60 \times 10^3\text{ W}}} \quad (2)$$

Pracovné otáčky oboch AM sa budú pohybovať do 500 ot/min (riadenie pomocou meniča frekvencie), výkon motorov bude v prevádzke podstatne menší ako 60 kW . Výkon P_i je uvažovaný ako celkový inštalovaný výkon.

6.1.8 Dispozičné riešenie

a) Popis objektu

Testovacie zariadenie sa bude nachádzať v areáli VŠB, budova HARD, miestnosť pre výskum kontaktnej únavy materiálov. Jedná sa o nebytový objekt určený pre výskumnú a vývojovú technickú činnosť.

Prízemná miestnosť s rozmermi $10,2 \times 5,7 \times 5\text{ m}$, priečky v miestnosti sú zhotovené tehlovou stenou pokrytou omietkou. Podlaha je tvorená keramickou dlažbou. Všetky vnútorné steny sú do výšky $2,5\text{ m}$ od podlahy pokryté keramickým obkladom. Miestnosť má protihlukovú izoláciu a jeden oblok. Hlavné prístupové dvere sú dvojdielne a súčasne slúžia ako únikový východ z miestnosti. V zimných mesiacoch je objekt permanentne vykurovaný z centrálného vykurovacieho systému.

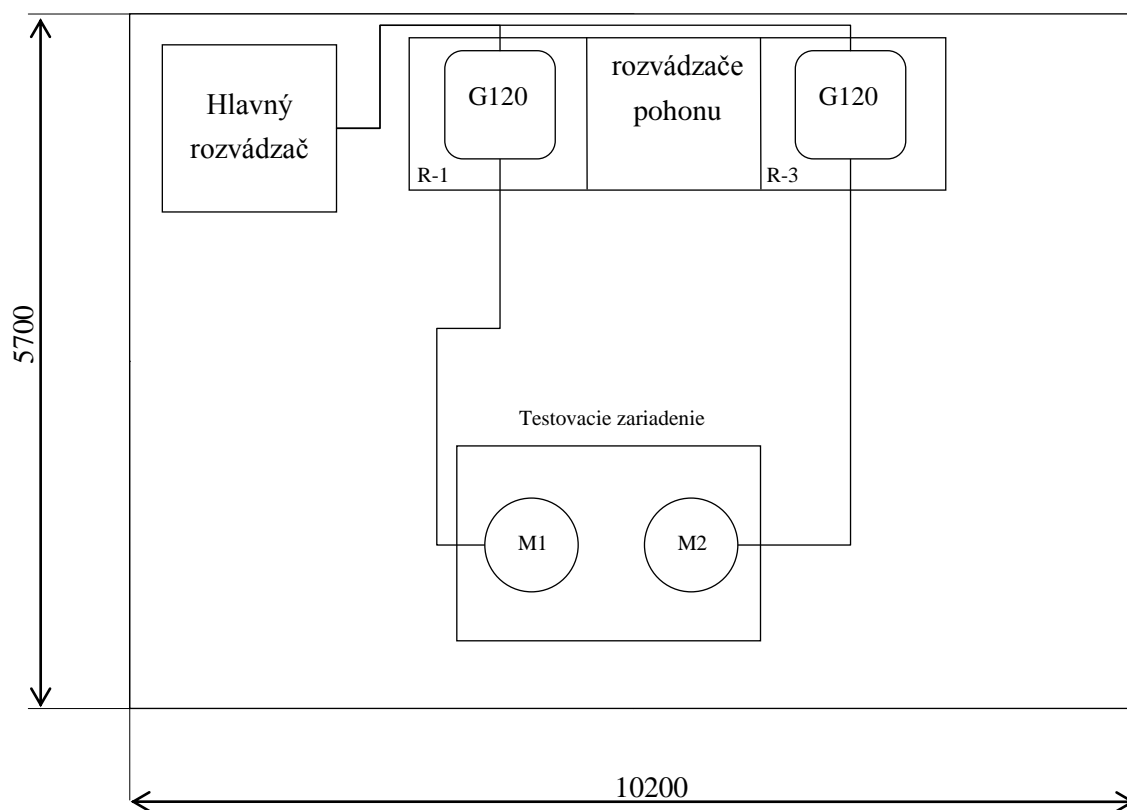
Osoby pohybujúce sa v objekte so skúšobným zariadením budú s príslušným elektrotechnickým vzdelaním, ostatné osoby sa môžu vyskytovať v miestnosti počas činnosti zariadenia iba s dozorom.

b) Dispozičné usporiadanie elektrotechnických zariadení

Na nasledujúcom obrázku 21 je orientačne znázornené usporiadanie objektov – rozvádzačov a skúšobného zariadenia v pôdoryse miestnosti ako aj frekvenčných meničov.

Rozmery pracovných rozvádzačov (výška, šírka, hrúbka): $3 \times (2200 \times 800 \times 500) (mm)$

Umiestnenie testovacieho stroja v pôdoryse je orientačné. Meniče kmitočtu Sinamics budú navždy umiestnené v rozvádzači pohonu.



Obrázok 21: Orientačné rozmiestnenie elektrotechnických zariadení

6.1.9 Funkčné riešenie

Zapojenia obvodov a všetkých nevyhnutných súčastí je k dispozícii na výkrese prehľadovej schémy zapojenia.

a) Stupeň dôležitosti z hľadiska napájania elektrickou energiou

V objekte nie je nutné zabezpečiť pre potreby stroja zvýšený stupeň ochrany pred výpadkom elektrickej energie.

b) Popis prevádzkových rozvodov

Zásady pre výber napájacích káblov k motorom

Pri hladinách výkonu vyšších ako 30 kW môžu byť použité káble so symetrickým usporiadaním jednožilového silového a uzemňovacieho vodiča.[3]

Tienené viacžilové káble sú vhodné pre nižšie výkony a jednoduchú inštaláciu. Do výkonu 30 kW a veľkosti kábla 10 mm² sú tiež vyhovujúce nesymetrické káble. Aby mohol mať vodič funkciu ochranného vodiča, má byť vodivosť tienenia minimálne 50 % vodivosti fázového vodiča. Tieto požiadavky sú splnené s medeným alebo hliníkovým tienením. Kvôli nižšej mernej vodivosti vyžaduje oceľové tienenie väčší prierez. Galvanické pokovenie zvýši vodivosť pri vysokom kmitočte. Ak je impedancia tienenia vysoká, úbytok napätia pozdĺž tienenia, spôsobený vysokofrekvenčnými spätnými prúdmi, môže zvýšiť potenciál kostry motoru vzhľadom k rotoru dostatočne pre vyvolanie prietoku nežiaducich ložiskových prúdov. Pokiaľ ide o elektromagnetickú kompatibilitu (EMC), účinnosť tienenia môže byť posúdená hodnotením jeho povrchovej prenosovej impedancie, ktorá musí byť nízka i pri vysokých kmitočtoch. Tienenie káblov musí byť uzemnené na oboch koncoch. Pospojovaním tienenia v rozsahu 360° poskytuje úplnú vysokofrekvenčnú schopnosť tienenia v rámci požiadaviek EMC. Vhodné varianty tienených káblov:

- trojžilový kábel s koncentrickým medeným alebo hliníkovým tienením, fázové vodiče sú v rovnakej vzdialenosti od seba (usporiadané v rovnoramennom trojuholníku) a od tienenia, ktoré sa používa zároveň ako ochranný vodič
- trojžilový kábel s tromi symetrickými vodičmi pre ochranné uzemnenie a koncentrickým tienením, tienenie slúži iba pre potreby EMC a pre fyzickú ochranu
- trojžilový kábel s opleteným tienením s malou roztečou z ocele alebo galvanicky pokoveného železa, pokiaľ má tienenie nedostatočný prierez pre použitie ako ochranný vodič, je nutný samostatný uzemňovací vodič [3]

Vo všetkých prípadoch musí byť dĺžka troch častí kábla, ktoré majú byť zapojené na pripojovaciu časť meniča kmitočtu a na svorkovnicu motoru, a majú teda odstránené tienenie, čo najmenšia.

U káblov kratších ako 100 m nie je nutné použiť žiadne prídavné opatrenia. Pri väčších dĺžkach káblov sa použijú špeciálne výstupné filtre. Ak je takýto filter dostatočne účinný pre potreby

EMC, potom kábel od filtru k motoru nemusí byť tienený, motor však môže vyžadovať prídavné uzemnenie.

Jednožilové netienené káble môžu byť vhodné pre motory s vyššími výkonmi, pokiaľ sú inštalované blízko seba na kovovom káblovom mostíku, ktorý je pospojovaný s uzemňovacou sústavou najmenej na oboch koncoch káblovej trasy. Je treba zdôrazniť fakt, že magnetické polia z týchto káblov môžu indukovať v blízko umiestnených kovových výrobkoch prúdy, vedúce k otepleniu a zvýšeniu strát.[3]

Pri inštalovaní kábla je nutné zaistiť, aby tienenie bolo vysokofrekvenčne spojené s meničom i krytom motoru. To znamená, že svorkovnica motora musí byť vyrobená z elektricky vodivého materiálu. Spoje tienenia majú byť prevedené s vývodmi v rozsahu 360 °, potom bude nízka impedancia v širokom rozsahu kmitočtu. To účinne znižuje napätie v hriadeľi a kostre, zároveň zlepšuje vlastnosti EMC.[3]

Použité a navrhnuté káble pre projekt testovacieho zariadenia

- Prevádzkové obvody v miestnosti sú riešené nasledovným spôsobom: v objekte je inštalované stávajúce vedenie. Toto silové vedenie (typ siete TN-C) je vedené cez systém káblového kanála umiestneného v podlahe miestnosti a zaisťuje prívod elektrickej energie do hlavného rozvádzača.
- Od hlavného rozvádzača k rozvádzačom pohonu je využité taktiež stávajúce vedenie (typ siete TN-C) umiestnené v káblovom kanáli v podlahe.
- Obe stávajúce vedenia majú dostatočné prierezy nato, aby boli využité pre projekt testovacieho zariadenia.
- Pre napájanie motorických jednotiek z frekvenčných meničov je vzhľadom na odpovedajúci výkon AM navrhnuté káblové vedenie:

Vedenie splňuje požiadavky normy ČSN EN 60034-25 (káble k frekvenčným meničom). Jedná sa o špeciálny kábel s *Cu* jadrom a tieniacim koncentrickým vodičom tiež z *Cu*.

- NYCWY 3×35 SM/35

Budú použité káble s dĺžkou 15 m pre každú motorickú jednotku samostatne. Vedenie káblov je realizované káblovým kanálom v podlahe.

c) Popis rozvádzačov

Plánované je využitie stávajúceho inštalovaného hlavného rozvádzača v objekte. Rovnako je plánované využitie stávajúcich rozvádzačov pohonu umiestnených v miestnosti. Rozmery pracovných rozvádzačov (výška, šírka, hrúbka): $3 \times (2200 \times 800 \times 500) (mm)$. V týchto budú umiestnené meniče kmitočtu, stykače a ochranné prvky. Meniče kmitočtu vyžadujú voľný prístup vzduchu pre potreby vlastného chladenia a z tohto dôvodu je nutná technologická úprava rozvádzačov – v hornej a dolnej časti je nutné inštalovať chladiace otvory, aby bola zabezpečená cirkulácia vzduchu. Každý rozvádzač má predné dvere a na nich je umiestnený hlavný mechanický vypínač obvo-

du pre daný menič kmitočtu a svetelná signalizácia zapnutého meniča. Dispozičné rozmiestnenie rozvádzačov je na obrázku 13 a na výkresoch situačných schém.

Fotografie rozvádzačov sú k dispozícii v elektronickej podobe vo fotodokumentácii v prílohách tejto práce.

d) Popis ovládania

Detailné požiadavky súvisiace s ovládaním stroja sú uvedené v kapitole 5.1. AM budú spúšťané cez motorové stýkače.

Ovládanie otáčok stroja bude realizované prostredníctvom PC a BOP. PC predstavuje v tomto prípade neoddeliteľnú súčasť pre nastavenia funkčnosti stroja. Taktiež bude k dispozícii Basic Operator Panel pre priame riadenie na frekvenčných meničoch (popis BOP je k dispozícii v kapitole 4.2.3).

Hlavné vypínače oboch pohonov zariadenia budú na čelnej strane rozvádzačov pohonu. Núdzové vypnutie elektrických rozvodov je realizované pomocou centrálného tlačidla STOP umiestneného podľa platných noriem.

Všetky ovládacie prvky sú dostupné výlučne v miestnosti, kde je zariadenie umiestnené.

6.1.10 Istiace a ochranné prvky

Výrobcom doporučené istiace komponenty pre jednotku PM240 a PM250:

- Poistka: Typ 3NA3 (3NA3830)
- Motorový istič: 3VL1712-.DD33

6.1.11 Ochrana pred spätnými vplyvmi (rušením) na sieť

Meniče kmitočtu použité pre riadenie otáčok AM sú vybavené sieťovými filrami typu A, ktoré minimalizujú rušivé účinky pôsobiace na sieť počas prevádzky zariadenia. V prípade požiadavky vyššieho stupňa ochrany je možná dodatočná inštalácia sieťových filtrov typu B (viď príslušenstvo frekvenčných meničov).

6.1.12 Ochrana pred úrazom elektrickým prúdom

Ochrana pred nebezpečným dotykom neživých častí v prípade poruchy je realizovaná samočinným (automatickým) odpojením od zdroja. Ochrana samočinným odpojením je realizovaná v sieti typu TN poistkami a ističmi.

7 ZÁVER

Hlavným cieľom tejto práce bolo vhodne zvoliť a aplikovať spôsob riadenia elektromotorov pre navrhnutý testovací stroj určený na testy šmykovej únavy ocelí. K dosiahnutiu efektívneho výsledku bolo nutné vyriešiť viacero konkrétnych technických otázok, súvisiacich s danou problematikou.

Požiadavky na testovacie zariadenie sú také, aby zmena otáčok motorických jednotiek bola plynulá. Žiaduci je aj široký rozsah nastavenia pracovných otáčok pre rôzne veľkosti zaťaženia. Oba asynchrónne motory musia byť riadené nezávisle pre aplikáciu skúšky s núteným prešmykom. Ďalšou požiadavkou bolo, aby jeden z dvoch AM mohol v prípade spomenutej skúšky pracovať v generátorickom režime, a teda mu bola umožnená rekuperácia energie do napájacej siete.

Ako najvýhodnejšie technické riešenie na dosiahnutie spomenutých vlastností stroja je využitie dvoch moderných meničov kmitočtu Sinamics, z ktorých budú napájané obe motorické jednotky. Spomínaný problém rekuperácie energie je vyriešený pomocou frekvenčného meniča disponujúceho výkonovou jednotkou (PM250), ktorá túto funkciu podporuje. Pre druhú jednotku je zvolený jednoduchší model výkonovej jednotky (PM240).

Ďalším prínosom práce je približné stanovenie rozdielu pracovných otáčok asynchrónnych motorov pre rôzne veľkosti zaťaženia stroja. V práci je taktiež dostupná analýza chovania stroja pre dva druhy skúšok. S touto analýzou súvisí postup, akým bude programátor ladiť riadiace jednotky meničov.

Z praktického merania troch typov otepľovacích skúšok je prínosom overenie spôsobilosti vlastného chladenia AM, pri dlhodobom zaťažení a rôznych otáčkach. Vinutie elektromotorov spĺňa požiadavky pre teplotnú triedu F. Pri žiadnej skúške nebola prekročená medzná hodnota teploty. Rovnako je v meraniach analyzované aj oteplenie vinutia AM. Z toho vyplýva, že vlastné chladenie je postačujúce a nie je nutné aplikovať externý chladiaci systém pre motory. S využitím meničov kmitočtu je spojená aj otázka ich nežiaducich spätných vplyvov na sieť. Nežiaduce vysoko-frekvenčné zložky sú potlačené pomocou špecifických typov meničov s integrovanými sieťovými filtrami na strane napájacej siete. Zhotovená technická správa, v technickom popise riešenia, je hlavným prínosom v oblasti výberu špeciálnych káblov k motorom, trasy ich vedenia a istiacich prvkov. Súčasťou práce je aj prínos v oblasti situačnej a prehľadovej schémy zapojenia, dostupných v prílohách na výkresoch.

V súvislosti s ďalším vývojom zariadenia je na mieste aj otázka jeho samotnej konštrukcie a uvedenia do prevádzky. Práve tu, môže dôjsť k situáciám, ktoré nie sú vopred predvídateľné. Z hľadiska technických prostriedkov je možné vylepšiť ovládacie prvky meničov kmitočtu. Panel BOP je možné nahradiť panelom IOP, ktorý poskytuje väčší komfort ovládania, omnoho viac funkcií a je dostupný aj vo forme diaľkového ovládania.

8 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ŠOFER, M.: *Koncepční návrh úprav zkušebního stroje pro výzkum kontaktní únavy* – Diplomová práce, Ostrava 2009.
- [2] CHMELÍK, K.: *Asynchronní a synchronní elektrické stroje*. – Skriptum, Ostrava 2002.
- [3] Točivé elektrické stroje - ČSN TLS/TS 60035-25.
- [4] KOCMAN, S.: *Asynchronní stroje* [on-line].
Dostupné z: < http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_asynchronni_stroje_bc.pdf >
(2010-17-4)
- [5] KUCHAR, M. – ŠTĚPANEK, L.: *Přímé řízení asynchronních motorů* [on-line]. Automatizace 2006.
Dostupné z:
< <http://www.automatizace.cz/download.php?d=QXRtX0FydGljbGUscGRmX2FydCwxMTM4> >
(2010-21-3)
- [6] Nizkonapěťové měniče Sinamics G120 [on-line]. Siemens 2010.
Dostupné z: < <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=b241659be2&ctxp=home> >
(2010-17-4)
- [7] Katalóg meničov Siemens [on-line]. Siemens 2009. Dostupné z:
< <http://www1.siemens.cz/ad/current/file.php?fh=39a5c3c0ba&aid=2065119> >
(2010-16-3)
- [8] KOPYLOV, I. P.: *Stavba elektrických strojů*, SNTL Praha 1988.
- [9] Katalóg motorov Siemens [on-line]. Siemens 2010.
Dostupné z: < <http://www.elektromotory.net/dokumenty/1LG4.pdf> >
(2010-23-3)
- [10] Roubíček, O. a kol.: *Řízení rychlosti otáčení indukčního motoru* [on-line]. Elekrika.cz 2008.
Dostupné z: < <http://elektrika.cz/data/clanky/rizeni-rychlosti-otaceni-indukcniho-motoru/view> >
(2010-23-3)
- [11] Vnější vlivy - ČSN 33 2000-3

9 ZOZNAM PRÍLOH

| Číslo výkresu | Názov výkresu |
|---------------|---|
| 1 | TESTOVACÍ STROJ – SITUAČNÁ SCHÉMA |
| 2 | SCHÉMA ROZMIESTNENIA PRÍSTROJOV - ROZVÁDZAČ R-1 |
| 3 | SCHÉMA ROZMIESTNENIA PRÍSTROJOV - ROZVÁDZAČ R-3 |
| 4 | TESTOVACÍ STROJ – PREHLADOVÁ SCHÉMA ZAPOJENIA |